

Le Rapport annuel 2009 révèle d'une part les efforts de compréhension du changement écologique mondial d'un point de vue scientifique et, d'autre part, les débats susceptibles d'émerger à l'avenir. L'objectif est une conscientisation accrue sur le fait que les problèmes environnementaux peuvent accélérer les changements en cours et ainsi mettre le bien-être de l'homme en péril.

Le rapport annuel du PNUE 2009 présente en six chapitres les avancées scientifiques et les développements effectués. Il présente également les prévisions quant aux effets cumulatifs de la dégradation des écosystèmes, le rejet de substances nocives pour ces derniers et pour la santé des personnes, les conséquences du changement climatique, les pertes humaines et économiques dues aux désastres et aux conflits, et la surexploitation des ressources. Ce rapport incite les gouvernements à prendre d'urgence leurs responsabilités vu l'approche des seuils critiques et des points de basculement.

*"En toile de fond du Rapport annuel du PNUE 2009 se trame une crise alimentaire, énergétique et financière qui aiguille les choix de l'humanité au 21<sup>e</sup> siècle.*

*(...) Une question y est posée ; un avenir plus radieux et plus durable va-t-il de pair avec les anciens modèles économiques du 20<sup>e</sup> siècle ou avec une nouvelle approche économique verte ? Ce concept allie exploitation efficace des ressources, amélioration sensible de la gestion de l'écosystème et conditions d'emploi décentes à la fois dans le monde dit développé et le monde en développement.*

*(...) Certaines réponses se trouvent dans les découvertes présentées dans le Rapport annuel 2009."*

Achim Steiner, Sous-secrétaire général des Nations Unies et directeur exécutif du Programme des Nations Unies pour l'environnement

# ANNUAIRE DU PNUE

**AVANCEES SCIENTIFIQUES ET DEVELOPPEMENTS  
DANS NOTRE ENVIRONNEMENT EN MUTATION**

# 2009



**UNEP**

Programme des Nations  
Unies pour l'environnement

United Nations Environment Programme  
P.O. Box 30552,  
Nairobi 00100, Kenya  
Tel: (+254) 20 7621234  
Fax: (+254) 20 7623927  
Email: [unep@unep.org](mailto:unep@unep.org)

[www.unep.org](http://www.unep.org)

978-92-807-2988-7  
DEW/1122/NA

Copyright © 2009, Programme des Nations Unies pour l'environnement

ISBN : 978-92-807-2988-7

UNEP/GC.25/INF/2

DEW/1122/NA

#### Avis de non-responsabilité

Le contenu et les opinions exprimés sur ce site Web ne reflètent pas nécessairement les opinions ou les politiques des organisations contributives ou du Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE), et ils n'impliquent pas non plus aucune approbation.

Les désignations employées et la présentation du matériel sur ce site Web n'impliquent pas l'expression de quelque opinion que ce soit de la part du PNUE concernant le statut légal d'un pays, d'un territoire ou d'une ville ou ses autorités, ou concernant la délimitation de ses frontières et ses limites.

La mention d'une compagnie ou d'un produit commercial dans cette publication n'implique pas l'appui du PNUE.

© Cartes, photos et illustrations : comme indiqué.

#### Reproduction

Le présent ouvrage peut être reproduit en totalité ou en partie sous une forme quelconque à des fins éducatives ou non lucratives sans autorisation préalable du détenteur des droits d'auteur, sous réserve d'indication de la source. En tel cas, le PNUE souhaite recevoir un exemplaire de toute publication utilisant le présent ouvrage comme source.

Le présent ouvrage ne peut être utilisé à des fins de revente ou toute autre fin commerciale quelle qu'elle soit sans autorisation écrite préalable du PNUE. Pour obtenir une telle autorisation, s'adresser, en indiquant l'objet de la reproduction ainsi que la partie du texte visée, au Directeur, DCPI, PNUE, P.O. Box 30552, Nairobi 00100 (Kenya).

Les données contenues dans le présent ouvrage concernant un produit couvert par un brevet ne peuvent être utilisées à des fins publicitaires.

Cette publication a été imprimée dans des infrastructures certifiées ISO 9001 et ISO 14001 (environnement) en utilisant un revêtement à base aqueuse, des encres végétales et du papier sans chlore et sans acide provenant de fibres recyclées certifiées par le Conseil de bonne gestion forestière.

Produit par

La Division de l'alerte précoce et de l'évaluation (DEWA)

Programme des Nations Unies pour l'environnement

P.O. Box 30552

Nairobi 00100 (Kenya)

Tél. : (+254) 20 7621234

Fax. : (+254) 20 7623927

E-mail : [unepubb@unep.org](mailto:unepubb@unep.org)

Site Web : [www.unep.org](http://www.unep.org)

Site Web du rapport annuel du PNUE : <http://www.unep.org/geo/yearbook>

Rédaction : Catherine McMullen et Thomas Hayden

Couverture : Look Twice Design (Canada)

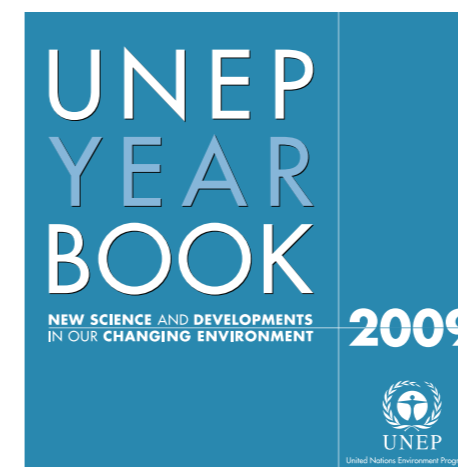
Art graphique, photocomposition et impression : Phoenix Design Aid (Danemark)

Distribution : SMI (Distribution Services) Ltd., (R.-U.)

On peut obtenir le présent ouvrage à l'adresse suivante : Earthprint.com <http://www.earthprint.com>

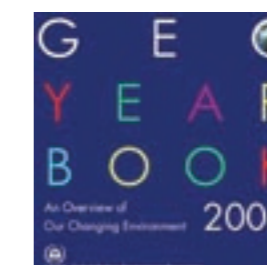
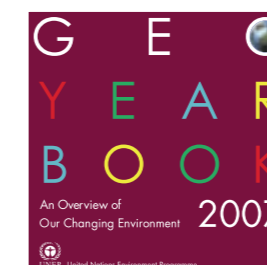
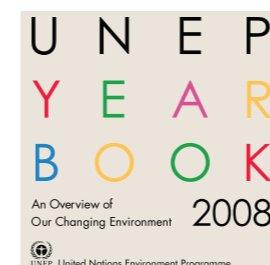
Le PNUE défend des pratiques générales saines et en particulier dans l'exécution de ses propres activités. Cette publication est imprimée sur du papier ne contenant ni de chlore ni d'acide et est issue d'une gestion forestière durable. Notre politique de distribution a pour objectif de réduire l'empreinte CO2 du PNUE.

## La collection Rapport annuel



### Rapport annuel 2009

Le rapport annuel du PNUE 2009 présente une sélection des nouvelles découvertes scientifiques et des événements de l'année 2008 susceptibles de provoquer d'importants bouleversements au niveau environnemental dans le courant de l'année 2009. Une foule de sujets étayés par de nombreuses images y sont mis en exergue, tels que les nouveaux progrès en matière de gestion de l'écosystème, de substances nocives et de déchets dangereux, de changement climatique, de désastres et de conflits, de rendement des ressources et de gouvernance environnementale à propos de la question thématique interdisciplinaire des effets cumulatifs des questions et problèmes environnementaux les plus urgents.



Téléchargez gratuitement en ligne le rapport annuel du PNUE à partir de <http://www.unep.org/geo/yearbook/> ou achetez les exemplaires imprimés disponibles en anglais, français, espagnol, russe, arabe et chinois pour la somme de 20 dollars par copie (plus frais d'envoi et de gestion). Les commandes provenant des pays en développement bénéficieront d'une réduction de 25 %. Il est possible d'acheter la collection complète Rapport annuel à un prix réduit.

Ecrivez à [unep@earthprint.org](mailto:unep@earthprint.org) pour toute commande d'exemplaires imprimés de la dernière version du Rapport annuel du PNUE ou d'une version antérieure. Les commandes peuvent également être effectuées via la librairie en ligne [www.earthprint.com](http://www.earthprint.com). Les commandes postales se font à l'adresse ci-dessous. Les autres publications du PNUE sont disponibles sur le site Web [www.earthprint.com](http://www.earthprint.com).

EarthPrint Limited

P.O. Box 119, Stevenage

Hertfordshire SG14TP, Angleterre

**Veillez consacrer quelques minutes à notre questionnaire en ligne à la page [www.unep.org/geo/yearbook/](http://www.unep.org/geo/yearbook/) Votre avis nous est cher—Merci !**

# ANNUAIRE DU PNUE

**AVANCEES SCIENTIFIQUES ET DEVELOPPEMENTS**  
DANS NOTRE **ENVIRONNEMENT EN MUTATION**

# 2009



**PNUE**

Programme des Nations  
Unies pour l'environnement

# Préface

Le Rapport annuel du PNUE 2009, qui se concentre sur six domaines de notre nouvelle stratégie à moyen terme, a pour toile de fond une crise alimentaire, pétrolière et financière qui oriente les choix de l'humanité au 21<sup>e</sup> siècle.

Une question y est posée ; un avenir plus radieux et plus durable va-t-il de pair avec les anciens modèles économiques du 20<sup>e</sup> siècle ou avec une nouvelle approche économique verte ? Ce concept allie exploitation efficace des ressources, nette amélioration de la gestion des ressources naturelles et conditions d'emploi décentes à la fois dans le monde dit développé et le monde en développement.

La réponse à cette question se trouve dans les découvertes présentées dans le Rapport annuel 2009.

Les écosystèmes, vastes "entreprises" dont les biens et services représentent des milliards de dollars chaque année, changent également. Des écosystèmes forestiers entiers ont disparu dans 25 pays et ont été réduit de 90 % dans 29 autres.

La biomasse de certaines espèces abondantes de poissons de mer victimes de la pêche a chuté de 90 % depuis les années 60. La quantité de terres d'assolement disponible par personne est susceptible de passer sous 0,1 hectare d'ici la moitié du siècle. Une augmentation de la production agricole serait alors nécessaire mais à un niveau impossible à atteindre par le biais de méthodes conventionnelles.

D'ailleurs, le changement climatique est un exemple navrant supplémentaire. L'échec de l'intégration totale des coûts que représente l'augmentation des

émissions de gaz à effet de serre a un impact qu'il était impossible de concevoir quelques années auparavant.

Les réservoirs en Méditerranée et dans le Midwest américain pourraient bientôt être à sec : l'inlandsis groenlandais se réduirait déjà de plus de 100 kilomètres cube par an, ce qui influence le niveau des océans.

En outre, l'Arctique est un énorme réservoir de méthane. Plus de 250 panaches bouillonnent à l'heure actuelle au nord-ouest du Svalbard. L'apparition de points de basculement redoutables pour le climat terrestre est une perspective qui pourrait de plus en plus devenir réalité.

Ce Rapport annuel met également en exergue des approches plus créatives et plus intelligentes. Prenons l'exemple du biomimétisme. Le système d'air conditionné de l'Eastgate Building à Harare au Zimbabwe s'est inspiré de tours construites par des termites. Il consomme 90 % d'énergie en moins qu'un bâtiment du même ordre.

Les limites de captures fondées sur le droit pour les pêcheurs exerçant dans des pays tels que le Canada, le Chili, le Mexique et les Etats-Unis peuvent clairement réduire, voire inverser le risque d'effondrement de l'écosystème.

Par ailleurs, des centaines de milliards de dollars sont rassemblés pour stimuler les économies. Il s'agit d'une chance de vaincre les problèmes actuels et de modeler les marchés afin de favoriser non seulement la planète mais également les moyens d'existence et le bien-être de six, bientôt neuf milliards de personnes. En bref, il faut profiter de cette occasion pour réellement donner un coup de pouce à l'économie verte.



A handwritten signature in black ink that reads "Achim Steiner".

**Achim Steiner**

Sous-secrétaire général des Nations unies et  
Directeur exécutif du  
Programme des Nations Unies pour  
l'environnement

# Table des matières

|  |    |   |    |
|--|----|---|----|
| Préface  | ii |   |    |
| Introduction   | iv |   |    |
| <b>Gestion des écosystèmes</b>                           |    |   |    |
| Introduction   | 1  |   |    |
| Ecosystèmes en mutation                                  | 2  |   |    |
| Ecosystèmes et bien-être de l'humanité                   | 4  |   |    |
| Nouveaux paradigmes de gestion                           | 6  |   |    |
| Conclusion   | 9  |   |    |
| Références   | 10 |   |    |
| <b>Substances nocives et déchets dangereux</b>           |    |   |    |
| Introduction   | 11 |   |    |
| Substances dangereuses dans les aliments et les boissons | 12 |   |    |
| Historique de la contamination au mercure                | 14 |   |    |
| Le visage de la nanotechnologie                          | 16 |   |    |
| Défis pour la relance de l'énergie nucléaire             | 17 |   |    |
| Conclusion   | 19 |   |    |
| Références   | 20 |   |    |
| <b>Changement climatique</b>                             |    |   |    |
| Introduction   | 21 |   |    |
| Détection, observation, attribution                      | 22 |   |    |
| Puits, sources et feedbacks                              | 25 |   |    |
| Impacts et vulnérabilités                                | 27 |   |    |
| Points de basculement                                    | 28 |   |    |
| Conclusion   | 28 |   |    |
| Références   | 30 |   |    |
|  |    | <b>Désastres et conflits</b>                                |    |
|  |    | Introduction  | 31 |
|  |    | Désastres, conflits, environnement—2008                     | 32 |
|  |    | Erreurs humaines et prévention des désastres                | 35 |
|  |    | De grandes attentes   | 38 |
|  |    | Conclusion  | 39 |
|  |    | Carte des événements environnementaux significatifs de 2008 | 40 |
|  |    | Références  | 42 |
|  |    | <b>Rendement des ressources</b>                             |    |
|  |    | Introduction  | 43 |
|  |    | Faire plus en gaspillant moins                              | 44 |
|  |    | Du berceau au tombeau                                       | 47 |
|  |    | Eau : un besoin urgent de meilleurs systèmes                | 49 |
|  |    | Progrès et constructivité                                   | 50 |
|  |    | Conclusion  | 51 |
|  |    | Références  | 52 |
|  |    | <b>Gouvernance environnementale</b>                         |    |
|  |    | Introduction  | 53 |
|  |    | Atteindre les objectifs du Millénaire pour le développement | 54 |
|  |    | Sélection des faits marquants pour l'année 2008             | 56 |
|  |    | De nouveaux outils sont nécessaires                         | 58 |
|  |    | Conclusion  | 61 |
|  |    | Références  | 63 |
|  |    | Acronymes et abréviations                                   | 63 |
|  |    | Remerciements   | 64 |

# Introduction

Le Rapport annuel 2009 révèle d'une part les efforts de compréhension du changement écologique mondial d'un point de vue scientifique et, d'autre part, les débats susceptibles d'émerger à l'avenir. L'objectif est une conscientisation accrue sur le fait que les problèmes environnementaux peuvent accélérer les changements en cours et ainsi mettre le bien-être de l'homme en péril.

Les chapitres de ce Rapport annuel suivent la même trajectoire que notre prise de conscience des changements environnementaux. Les transformations sont inhérentes à cette trajectoire et se déroulent sur de nombreux fronts : de l'agriculture industrielle à l'agriculture écologique, d'une société consommatrice vers une société qui gère ses ressources de manière efficace, et d'une triade d'intérêts concurrents entre la société civile, le secteur privé et les gouvernements à un modèle plus coopératif basé sur les avantages réciproques.

Le premier chapitre, **Gestion des écosystèmes**, présente les écosystèmes qui répondent de manière accélérée aux changements climatiques, anthropiques et écologiques et aux seuils critiques en progression. Il examine l'appel à une approche de la production alimentaire orientée éco-agriculture ainsi que le potentiel des principes de durabilité à garantir que la gestion des écosystèmes prenne la lutte contre la pauvreté en considération.

Le chapitre concernant les **Substances nocives et déchets dangereux** suit la découverte de la synthèse de l'azote jusqu'à son application dans des engrais qui ont entraîné une croissance démographique sans précédent et accéléré une ère de chimie industrielle à grande échelle. Beaucoup de ces produits chimiques portent atteinte à notre environnement et à notre santé.

Le chapitre relatif au **Changement climatique** attire l'attention sur les dernières recherches en matière de croissance des concentrations des gaz à effet de serre dans

l'atmosphère et sur les nouvelles découvertes concernant la vitesse et les schémas de distribution de la fonte des glaces et de la hausse des niveaux des mers. Les conséquences potentielles sont étudiées pour les systèmes terrestres spécifiques, tels que la circulation océanique, les moussons tropicales et les oscillations atmosphériques communes. Les concepts d'éléments et de points de basculement dans les systèmes terrestres sont introduits.

Le chapitre relatif aux **Désastres et conflits** décrit les troubles civils, tremblements de terre, intempéries et sécheresses qui continuent de mettre les populations sous pression ainsi que les écosystèmes dont elles dépendent. Les populations vulnérables sont particulièrement menacées. Cependant, de plus en plus de preuves attestent de l'efficacité des programmes de prévention et de préparation aux catastrophes. Le chapitre contient également une carte reprenant les événements environnementaux significatifs de 2008.

Le chapitre sur le **Rendement des ressources** explore des approches industrielles alternatives. Une transformation importante est en cours via de nouveaux schémas de production et de consommation ainsi qu'une utilisation des ressources rentable et améliorée. Le développement et l'amélioration de solutions existantes du secteur privé, telles que la symbiose et la dématérialisation industrielles, peuvent contribuer au redressement du déficit croissant des ressources.

Le dernier chapitre, **Gouvernance environnementale**, propose un bref résumé des découvertes clés des chapitres précédents et examine les effets cumulatifs de la dégradation des écosystèmes, le rejet de substances nocives pour ces derniers et pour la santé des personnes, les conséquences du changement climatique, les pertes humaines et économiques dues aux désastres et aux conflits, et la surexploitation des ressources. Ce rapport incite les gouvernements à prendre d'urgence leurs responsabilités vu l'approche des seuils critiques et des points de

basculement. Ce chapitre comprend également un calendrier d'événements choisis en 2008.

De manière détaillée, le chapitre identifie certains des moteurs qui créent les défis, tels que la croissance des populations, leurs aspirations matérielles et un modèle économique imparfait qui n'attribue pas de valeurs appropriées à une grande partie des ressources exploitées. Ces moteurs ont des effets cumulatifs et nécessitent la prise de décisions, ce qui rend souvent la pratique d'une gouvernance environnementale à la fois ambitieuse et complexe. Par exemple, les pressions émanant de l'accroissement démographique et des aspirations matérielles incitent les travailleurs à s'établir près des parcs nationaux où ils peuvent être forcés à détruire les écosystèmes protégés pour survivre, ou ces pressions motivent les gens à construire leur source de revenus dans des zones côtières urbaines, où ils sont exposés à des menaces d'intempéries de plus en plus intenses et fréquentes.

Ce Rapport annuel explore également certaines des nombreuses solutions telles que les programmes efficaces de préparation aux catastrophes qui peuvent instaurer les fondements de la coopération communautaire qui pourraient résonner dans des projets de développement futurs. De même, les applications de symbiose industrielle qui permettent une utilisation plus efficace des ressources peuvent nourrir une croissance économique durable, prévenir la pollution et fournir des biens pour l'économie verte. Des procédures d'évaluation remaniées et l'établissement de schémas innovants offrant de nombreux avantages sociaux et environnementaux ne sont que des exemples de solutions qui peuvent être conçues grâce aux mécanismes institutionnels et à une bonne gouvernance.

# Gestion des écosystèmes

Les écosystèmes de la planète sont en danger. 20 % de la couverture végétale du globe ont été considérablement dégradés par l'activité humaine et 60 % des écosystèmes estimés de la planète sont désormais détériorés ou menacés. Le schéma irréfutable est celui de la surexploitation des ressources naturelles tout en produisant plus de déchets que les écosystèmes ne peuvent traiter.



Une faune et une flore variées sur les monts Hoang Lien donnent naissance à des paysages montagnards à couper le souffle et à des cultures en terrasses gérées dans le district de Sapa, province de Lao Cai, dans le nord-ouest du Vietnam.

Source : Graham Ford

## INTRODUCTION

Les écosystèmes sont, par définition, résistants et flexibles aux changements même les plus radicaux. L'écroulement mondial du fonctionnement de l'écosystème actuel n'en est que plus dramatique. Au cours des 50 dernières années, les activités humaines ont tellement accéléré le rythme de mutation et ont introduit tant de liens et de substances artificiels que les systèmes naturels ont perdu leur capacité d'adaptation. Les menaces, telles que la destruction des habitats, la perte d'espèces, la pollution et le changement climatique se combinent pour causer un effondrement écologique plus étendu, plus grave et plus probable (Homer-Dixon, 2007). Pire encore : alors que les diverses menaces se concrétisent simultanément, les principaux écosystèmes atteignent des seuils critiques au-delà desquels ils ne pourront jamais se rétablir.

La science ne peut pour le moment pas prévoir précisément quels sont ces seuils pour chaque écosystème mais nous comprenons nettement mieux les changements cumulatifs et non linéaires ; cela nous permet d'entrevoir avec plus d'exactitude dans quels retranchements un écosystème peut être repoussé avant que les changements ne deviennent irréversibles (Willis et alii, 2007). Ces avancées permettent de préciser les nombreux liens existants entre la santé de l'écosystème à long terme et le bien-être de l'humanité. Il est désormais évident que la gestion des écosystèmes, les services environnementaux et le développement socio-économique doivent être considérés ensemble.

Face au changement climatique et à la dangereuse montée des eaux, l'instabilité du prix de l'énergie et des denrées alimentaires en 2008 laisse entrevoir l'ampleur mondiale et les effets en cascade des pressions que

nous exerçons sur les écosystèmes. Ces événements soulignent encore davantage la vulnérabilité inhérente à la politique de croissance économique à tout prix et apportent la preuve que les méthodes de gestion des écosystèmes conventionnelles et extrêmement cloisonnées ne fonctionnent pas.

En 2008, des voix provenant de toutes les sphères de la société se sont élevées pour exiger des changements radicaux. Nombreuses sont les personnes qui approuvent les mesures à long terme visant à intégrer la dimension écologique à la gestion de l'agriculture et de la conservation et allant de paire avec une augmentation de l'importance des systèmes de gestion intégrés dans lesquels les besoins des hommes et ceux de la nature sont pris en compte, au bénéfice de tout le monde.

## Encadré 1 : Priorité absolue : les mammifères en péril

Selon le «Indice Liste Rouge» de 2008, sur les 5 487 espèces mammifères reconnues dans le monde, plus de la moitié sont en déclin et plus de 20 % menacées d'extinction. Cet index, inventaire mondial permanent entrepris par l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (UICN), est largement reconnu comme la meilleure évaluation du statut de distribution et de conservation des espèces animales et botaniques de la planète.

S'il est difficile de quantifier la menace avec exactitude, la situation est pire pour les espèces mammifères marines, dont 36 % sont menacées d'extinction en raison de la pollution, du changement climatique, des filets de pêche et des cargos. Depuis la dernière estimation de «l'indice Liste Rouge» sur les espèces mammifères en 1996, les scientifiques ont répertorié 700 espèces non couvertes précédemment, dont 349 nouvelles, découvertes essentiellement à Madagascar et en Amazonie. Selon les scientifiques, d'autres espèces restent à découvrir dans des régions telles que le Bassin du Congo.

Les mammifères menacés tendent à se concentrer dans des écosystèmes riches en espèces endémiques, c'est-à-dire des écosystèmes exposés à une pression extrême des activités humaines. Les zones les plus vulnérables sont celles de l'Asie du Sud et du Sud-Est, les Andes tropicales, les hauts-plateaux du Cameroun, le rift albertin en Afrique et le Ghats occidental en Inde. La déforestation et l'extension agricole ont eu pour effet que des animaux vivent sur des lopins de terre de plus en plus fragmentés et petits.

Entre-temps, les zones protégées risquent de ne plus offrir d'abri sûr pour les espèces : L'impact du tourisme sur les économies locales incite les personnes en quête d'emploi à s'installer autour des zones de conservation. Ces communautés se tournent ensuite vers l'exploitation forestière, la chasse et le défrichage par le feu, toutes activités qui mènent en définitive à un appauvrissement plus important des espèces dans les secteurs protégés.

Source : Miller et alii, 2006 ; Schipper et alii, 2008 ; Wittermyer et alii, 2008 ; UICN, 2008



Une sérieuse dégradation de son habitat conjuguée aux maladies et à une raréfaction de l'eau ont contribué à la quasi-extinction du zèbre de Grévy, dont ne subsistent que 750 spécimens adultes au Kenya et en Ethiopie.

Source : Jason Jabbour/ PNUF

## ECOSYSTEMES EN MUTATION

L'Evaluation des Ecosystèmes pour le Millénaire 2005 a fait rapport d'une perte substantielle et pour la plupart irréversible de la diversité de la vie terrestre ainsi que d'une détérioration de plus de 60 % de tous les écoservices évalués (MA, 2005) (**Encadré 1**). Cette effroyable réalité est à l'origine d'une vague de recherches et d'idées dans le monde scientifique. Nos systèmes de management environnemental et nos méthodes de recherche ont alors dû être repensés afin qu'ils puissent faire face plus efficacement à l'augmentation des risques et des défis lancés aux écosystèmes. L'enjeu est important. Si les humains sont destinés à survivre sur cette planète avec une qualité de vie générale acceptable, il est essentiel de gérer et d'utiliser les ressources naturelles de manière réellement plus efficace et plus créative (Steiner, 2008).

### Preuves irréfutables de détérioration

Tous les écosystèmes subissent des changements mais certains d'entre eux sont plus alarmants que d'autres. Parmi les plus visibles et les plus significatifs se trouvent la détérioration généralisée et la mutation des écosystèmes tropicaux et subtropicaux (**Figure 1**). La croissance de la demande en nourriture et autres produits issus de l'agriculture a provoqué une intensification de la production agricole et une explosion de la surface de terres cultivées (Yadvinder et alii, 2008). Elles couvrent désormais près d'un quart de la planète. Des systèmes forestiers entiers ont disparu dans au moins 25 pays et ont été réduits de 90 % dans 29 autres (Dietz et Henry, 2008). Et cette destruction se poursuit à un rythme effréné. De tels changements soudains et généraux des écosystèmes provoquent de graves perturbations au niveau des processus écologiques et des cycles biogéochimiques. Les retombées affectent les écoservices, tributaires de l'équilibre des fonctions écologiques de base, tant au niveau régional que mondial. Ces effets négatifs de la mutation des écosystèmes tropicaux et subtropicaux entraînent une diminution dramatique de la protection de la ligne de partage des eaux, une altération de l'intégrité des sols, une érosion accrue, une disparition de la biodiversité, une diminution de la capacité de piégeage du carbone et une détérioration de la qualité de l'air au niveau régional et local (Scherr et McNeely, 2008 ; Hazell et Wood, 2008).

Des changements moins visibles mais tout aussi importants liés aux activités humaines sont également en cours au sein des écosystèmes côtiers et marins. Les récifs coralliens, les zones intertidales, les estuaires, l'aquaculture côtière et les herbiers marins ont tous subi de sévères pollutions, dégradations, destructions et surexploitations. Le déclin des écosystèmes marins qui en découle a poussé les pêches maritimes dans un état de léthargie depuis près de dix ans (World Bank et FAO,

2008). A cet égard, depuis l'avènement de la pêche industrielle dans les années 1960, la biomasse totale des grandes espèces de poissons de mer ciblées a chuté de 90 % (Halpern et alii, 2008 ; MA, 2005).

Il est dès lors urgent de prendre des mesures en matière de pêche. Plus d'un milliard de personnes, dont la plupart parmi les populations les plus vulnérables au monde, en dépendent, cette activité étant leur principale source de protéines. D'après une étude ordonnée par la Banque mondiale et l'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO), l'exploitation et l'épuisement des stocks de poissons les plus importants de l'océan représentent une perte annuelle nette de la valeur des pêches mondiales de l'ordre de 50 milliards de dollars. Les principaux responsables sont l'augmentation excessive de la capacité de la flotte de pêche, le déploiement et la mauvaise gestion de technologies de plus en plus puissantes ainsi que la pollution croissante qui s'accompagne d'une perte des habitats (World Bank et FAO, 2008).

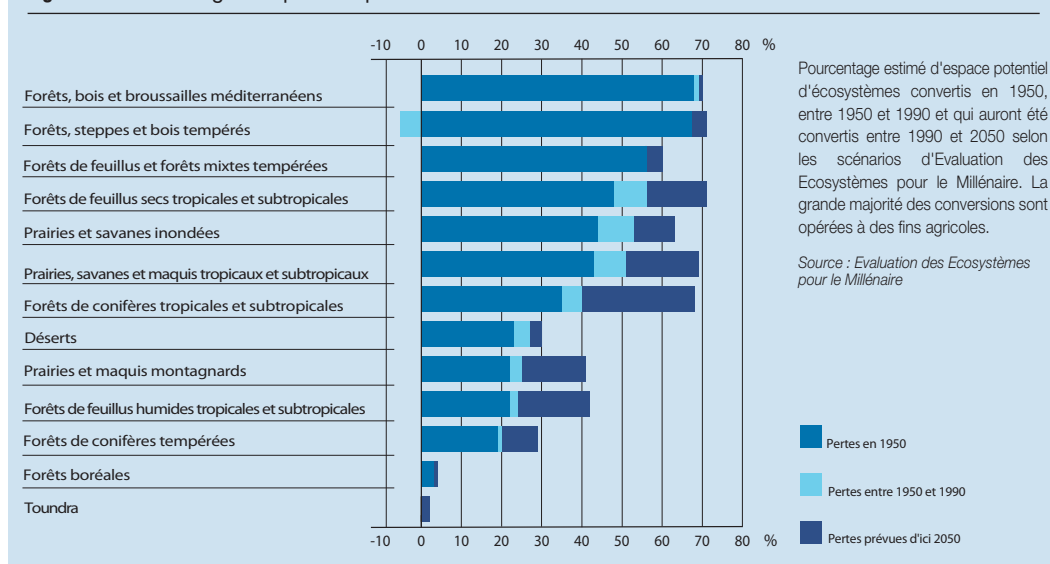
La hausse des prix des produits alimentaires, la crise énergétique imminente et les impacts croissants du changement climatique ont tous le potentiel d'accroître les pressions exercées sur les écosystèmes marins. Dans l'immédiat, la première nécessité est l'amélioration de la résilience de ces écosystèmes par le biais d'une série de réformes institutionnelles et réglementaires. Les recommandations relatives aux réformes nationales et internationales concertées sont conçues pour augmenter les investissements destinés à rendre plus fortes les collectivités vivant d'une pêche à petite échelle. Il serait dès lors bon d'éliminer les subventions contre-productives et les mesures d'incitation à effet pervers, mais également de défendre les initiatives visant à assurer des pêches durables et les nouvelles mesures pour éliminer la pêche illégale (World Bank et FAO, 2008).

### Ecosystèmes en mutation

De récentes études ont montré une migration et une expansion de certains types d'écosystème en réponse au changement climatique et aux conditions biogéochimiques (Silva et alii, 2008). Au cours des dernières années, la mutation de la toundra arctique en zone arbustive a été observée parallèlement à une augmentation des températures. Ce processus implique des températures hivernales plus élevées. En effet, un petit nombre d'arbustes est capable de stabiliser une couche de neige qui isole alors le sol. Ensuite, les microbes s'y trouvant restent actifs pendant plus longtemps grâce aux températures plus clémentes et produisent les nutriments dont les arbustes ont besoin. Dès lors, la colonisation de la toundra par les arbustes n'en est que renforcée (Strum et alii, 2005). La mutation résultant de l'écosystème a contraint les populations de caribous à quitter leurs pâturages naturels pour trouver



**Figure 1 : Pourcentage d'espace disponible converti d'ici à 2050**



en question de notre compréhension des limites des écosystèmes. Ce que nous apprenons au sujet des mutations accélérées, soudaines, inattendues et potentiellement irréversibles des écosystèmes provoque de sérieuses incertitudes quant à l'avenir de ces derniers et aux conséquences de nos actes pour le bien-être de l'humanité.

Cette situation a débouché sur des investissements accrus en matière de contrôle et de systèmes d'alerte précoce. Elle prouve par ailleurs l'importance des solutions alternatives de gestion. Ces études nous permettent d'ores et déjà d'expliquer plus précisément certains des facteurs et des mécanismes de rétroaction positifs, et de prévoir leur influence sur les mutations non linéaires des écosystèmes (Dakos et alii, 2008 ; Scheffer et alii, 2006 ; Lenton et alii 2008 ; Tallis et alii, 2008).

Les concepts d'écosystèmes émergents ne sont que plus convaincants vu les observations faites sur ces mutations et l'augmentation de leur apparition. Il s'agit d'un ensemble d'espèces vivant dans un écosystème donné observées dans conditions écologiques nouvelles ainsi que dans des quantités et des compositions jamais constatées auparavant (Milton, 2003 ; Seastedt et alii, 2008 ; Silva et alii, 2008). Le concept des écosystèmes émergents est tiré de l'idée que les écosystèmes évoluent à mesure qu'ils traversent diverses périodes de vulnérabilité et de résilience. Pendant ce processus, ils s'adaptent différemment aux perturbations et se reconstruisent en fonction de l'état du système et de l'étendue de ces perturbations. Les rythmes effrénés des mutations issues de forces liées aux activités humaines ont provoqué la disparition de certains écosystèmes. Ces forces ont cependant propulsé divers écosystèmes au-delà de leur étendue historique de variabilité vers des états relativement stables malgré leur nouveauté (Sax et Gains, 2008). Parallèlement à l'évolution d'écosystèmes

du lichen et des herbages graminés qu'ils trouvaient à l'accoutumée dans la toundra (Tape et alii, 2006). En 2008, de nouveaux éléments ont été apportés pour prouver qu'alors que la hausse des températures en Arctique permettait aux caribous d'avoir accès plus rapidement à la nourriture offerte par les pâturages, leur cycle de reproduction ne débutait quant à lui pas plus tôt. Le taux de réussite de reproduction du caribou a pâti de la situation par la même occasion (Post et alii, 2008).

Dans les montagnes du nord de l'Oural en Russie, le réchauffement du climat estival et le doublement des précipitations hivernales ont altéré la composition, la structure et la croissance du mélèze de Sibérie (Devi et alii, 2008). A l'instar des forêts adultes, ces conifères de 10 à 20 mètres poussent généralement au milieu de concentrations d'arbres monocaules ou multicaules. Cependant, une récente étude indique que 90 % des arbres nés après 1950 sont monocaules, une caractéristique des forêts moins adultes. Les chercheurs en ont conclu que cette génération d'arbres était le parfait reflet de l'expansion d'une nouvelle forêt à la fois en termes d'espace et de temps. L'écosystème de la toundra forestière est susceptible d'avoir déjà grappillé 20 à 60 mètres de montagne au cours du siècle dernier (Devi et alii, 2008)

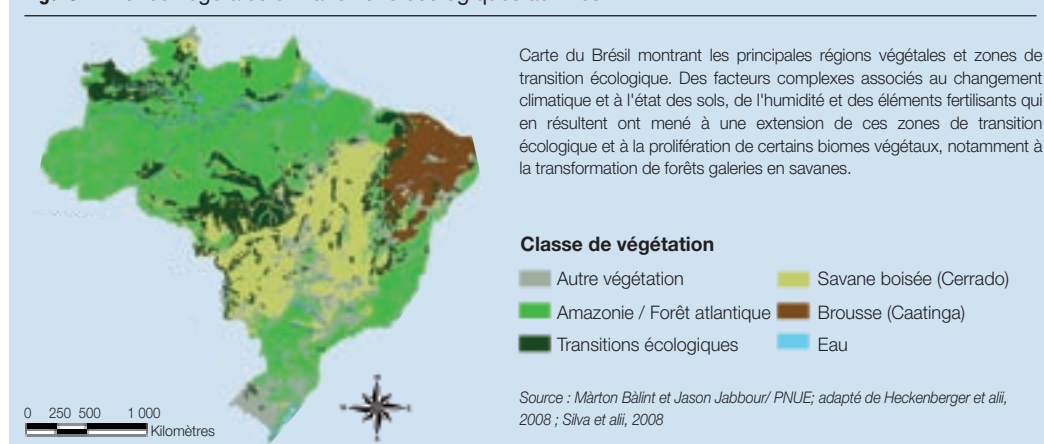
Les scientifiques savent depuis longtemps que les frontières entre la savane arborée et la forêt-galerie, deux écosystèmes bien distincts, ont été fixées en raison des nettes différences de propriétés du sol telles que la teneur en eau, les éléments nutritifs, l'aération et l'acidité (Furley, 1992 ; Beerling et Osborne, 2006). En 2008, de nouvelles preuves provenant du centre du Brésil ont

révélé une surprenante migration des forêts-galerie vers la savane avoisinante. Il semble que les changements climatiques peuvent être à la base de telles migrations et que les mécanismes de rétroaction ultérieurs, notamment l'incorporation d'éléments minéraux et l'arrêt des brûlis, pourraient accentuer le processus d'expansion (Figure 2) (Silva et alii, 2008).

### Mutations non linéaires et écosystèmes émergents

Le rythme effréné auquel les conditions environnementales transforment les paysages végétalisés, la fréquence du phénomène et la réponse inattendue des systèmes naturels existants appellent à une importante remise

**Figure 2 : Zones végétales et transitions écologiques au Brésil**



émergents et de conditions favorables, les systèmes de gestion environnementale doivent accroître leur capacité à analyser les coûts et les avantages inhérents. L'étude de l'état actuel du fonctionnement des écosystèmes est essentielle mais la gestion de systèmes dynamiques doit également inclure les évolutions possibles et les prévisions de changements à venir afin de pouvoir éviter tout désastre. Les écosystèmes émergents exigent de nouveaux systèmes de gestion environnemental, qui comprend une collaboration plus rationnelle entre les scientifiques et les gestionnaires en matière de méthodes et de mesures de développement permettant d'atteindre des objectifs à court et à long terme (Seastedt et alii, 2008).

Dans le parc national de Yellowstone aux Etats-Unis, de nouvelles perspectives de changements écologiques en cascade présents dans un environnement plus chaud ont poussé les gestionnaires et les scientifiques à reconsidérer les hypothèses et les stratégies traditionnelles. La prolifération d'une espèce de chardon envahissant présente en Amérique du Nord depuis longtemps a d'abord été attribuée au changement climatique. Les chercheurs ont cependant découvert récemment qu'elle était due à une boucle de rétroaction plus large dans laquelle une expansion simultanée de gaufres bruns a favorisé la multiplication de la plante. La présence de ces animaux entraîne des conditions de croissance idéales pour les chardons dont ils se nourrissent car ils retournent le sol de surface en creusant leurs tunnels. Plus il y a de chardons, plus il y a de gaufres. Par la même occasion, les populations d'ours bruns se sont stabilisées grâce à leur abondance (Robbins, 2008). Les efforts effectués par le parc pour contrôler l'expansion des chardons ont par conséquent été considérablement réduits.

Dans l'éventualité du maintien d'un écosystème émergent, de nouveaux écoservices et écoproduits précieux pourraient être fournis. De minutieuses études seront alors nécessaires pour connaître l'étendue de la contribution de ces nouveaux systèmes en faveur de la diversité, du renouvellement et de la résilience. L'objectif principal de la gestion des écosystèmes est d'optimiser les changements favorables et de réduire les éléments qui le sont moins tout en observant les processus et le maintien des avantages et des coûts (Hobbs et alii, 2008).

## ECOSYSTEMES ET BIEN-ETRE DE L'HUMANITE

La survie de toutes les sociétés dépend de la bonne santé des écosystèmes ainsi que des biens et services qu'ils génèrent. Ces bases sont menacées par les niveaux actuels de consommation des pays industrialisés ainsi que par les aspirations matérielles en plein essor des pays en développement. Les problèmes associés à la dégradation de l'environnement et au développement agricole vont, à eux seuls, occasionner des frais considérables pour les générations futures dus à la



Un producteur de crevettes d'Apalachicola en Floride (Etats-Unis) décrit le déclin radical des pêcheries dans le Golfe du Mexique et les défis croissants auxquels sont confrontés les pêcheurs. *Source : Tara Thompson*

mise en péril de la santé humaine et de l'équilibre des écosystèmes (Hazell et Wood, 2008, Levin et alii, 2008, RRI, 2008). Les conséquences du changement climatique et de la mondialisation économique nous rapprochent des seuils critiques pour l'équilibre d'un écosystème déjà menacé à l'échelle locale et mondiale. Le risque d'erreurs catastrophiques est croissant.

## Les perspectives d'avenir des biocarburants

Les biocarburants ont été sans conteste l'un des sujets environnementaux les plus controversés en 2008. Les discours passionnés faisaient d'une part l'éloge des biocarburants comme étant une solution énergétique renouvelable et à faible teneur en carbone, et d'autre part condamnaient leur production comme une menace pour la planète et ses occupants. Beaucoup estiment que l'opposition "biocarburants contre aliments" capte la tension intrinsèque du secteur des biocarburants.

Une augmentation spectaculaire du cours des céréales en 2008 a mis en évidence les problèmes de sécurité alimentaire et de vulnérabilité. La question de la part de responsabilité de la production de biocarburants dans cette hausse a divisé les experts, avec peut-être un maximum de 75 % attribué à l'association du détournement des céréales dans les biocarburants, de la mise en réserve par les agriculteurs de terres en vue de cultures énergétiques et de la spéculation financière (Chakraborty, 2008). D'autres experts ont établi une relation moins évidente entre les biocarburants et le prix des denrées alimentaires. Ils affirment que les biocarburants peuvent en fait réduire les déficits vivriers locaux et augmenter les revenus des plus pauvres sur la planète si des directives adéquates sont mises en œuvre (Müller et alii, 2008). Au-delà d'un troc direct entre les denrées alimentaires et l'énergie se niche une autre optique qui consiste à évaluer au travers de la gestion de l'utilisation des terres les implications liées des biocarburants, de la biodiversité, de l'intégrité des écosystèmes et des denrées alimentaires.

Des approches telles que la production des petites exploitations destinée à la consommation locale s'opposent au modèle dominant de la production de biocarburants agro-industrielle à grande échelle. De telles approches représentent également une expérience constante importante faisant partie de l'effort plus général visant à promouvoir une autonomie énergétique rurale, des opportunités de moyens d'existence ainsi que l'intégrité environnementale dans le monde en développement.

Par le biais d'une approche éco-agricole, les petits exploitants produisant du biodiesel ou de l'huile végétale pour une utilisation locale peuvent contribuer à la préservation de l'environnement, notamment en participant à la diversification des cultures et à la restauration des terres dégradées (Milder et alii, 2008). Cette stratégie pourrait facilement améliorer la sécurité énergétique locale, augmenter les revenus des ménages et créer de nouvelles opportunités économiques tributaires d'un approvisionnement énergétique limité mais stable (Ejigu, 2008). De tels projets de biocarburant à petite échelle sont désormais en cours dans plusieurs pays.

Des monocultures à grande échelle entraînent des dommages environnementaux liés à une utilisation intensive de produits chimiques, une perte de la biodiversité, une dégradation du sol, un déplacement de la faune et une consommation d'eau plus importante (**Tableau 1**). Elles peuvent également avoir des répercussions sociales significatives en termes de moyens d'existence et de droits de l'homme. Dans des zones où la situation du statut foncier est incertaine ou contestée, une augmentation de la production des biocarburants peut entraîner pour les groupes les plus pauvres la perte d'un accès primordial aux terres (Cotula et alii, 2008). Cependant, pour de nombreux pays en développement, l'expansion du commerce international des biocarburants représente une opportunité de développement économique.

Des tentatives de recherche visant à analyser les coûts et bénéfices totaux de divers processus de production de biocarburants, y compris les implications de l'évolution à grande échelle de l'utilisation des terres, prévoient l'épuisement des réserves en charbon et invoquent la possibilité selon laquelle biocarburants contribuent nettement au changement climatique (Fargione et alii, 2008). Une nouvelle étude, basée sur un modèle agricole mondial visant à estimer les émissions engendrées par l'évolution de l'utilisation des terres, révèle que l'éthanol à base de maïs augmenterait les émissions de gaz à effet de serre de près de 100 % en 30 ans et continuerait à en émettre pendant encore 167 ans (Searchinger et alii, 2008). Etant donné que l'enthousiasme initial pour les biocarburants est désormais tempéré par les préoccupations des compromis sociaux et environnementaux dans les zones de ces cultures énergétiques, plusieurs gouvernements ont récemment

**Tableau 1 : Projections relatives aux biocarburants et à l'eau pour 2030**

|                       | Production de biocarburants (milliards de litres) | Céréales      | Eau irriguée nécessaire (km <sup>2</sup> ) pour les biocarburants | Pourcentage de l'eau irriguée utilisée pour les biocarburants |
|-----------------------|---|---------------|---|---|
| <b>E-U/Canada</b>     | 51,3  | Maïs          | 36,8  | 20  |
| <b>Brésil</b>         | 34,5  | Canne à sucre | 2,5   | 8   |
| <b>UE</b>             | 23,0  | Colza         | 0,5   | 1   |
| <b>Chine</b>          | 17,7  | Maïs          | 35,1  | 7   |
| <b>Inde</b>           | 9,1   | Canne à sucre | 29,1  | 5   |
| <b>Afrique du Sud</b> | 1,8   | Canne à sucre | 5,1   | 30  |
| <b>Indonésie</b>      | 0,8   | Canne à sucre | 3,9   | 7   |

Sources : Molder, 2008 ; Serageldin et Masood, 2008

revu leurs objectifs quant à leur mandat pour les mélanges de carburants ou ont envisagé d'ajouter des conditions liées à un établissement durable des sources d'approvisionnement.

Le développement d'une norme mondiale soulignant les principes de durabilité et les critères de prise de décision constituera une avancée importante vers l'application de décisions stratégiques adéquates en association avec des outils de cartographie bioénergétiques avancés et la compréhension des exigences et besoins locaux. Des projets de biocarburant à petite échelle visant à promouvoir l'autonomie énergétique rurale dans les pays en développement représentent un défi d'inventivité face au scénario dominant des biocarburants pour les besoins en matière de transport internationaux (UN-Energy, 2007). Dans les mois et années à venir, il conviendra de déterminer si ces efforts se traduiront par une stratégie efficace permettant de faire face aux besoins énergétiques ruraux tout en améliorant les moyens d'existence et l'intégrité des écosystèmes.

### Cycle de la pauvreté et dégradation de l'environnement

La dégradation de l'environnement est responsable des incertitudes et des risques menaçant la planète. Ce sont toutefois les régions les plus pauvres et les communautés marginalisées et indigènes qui supportent le plus grand fardeau (Levin et alii, 2008). Si la tendance actuelle persiste, les effets perturbateurs du changement climatique et de la mutation des écosystèmes continueront à porter atteinte au bien-être d'au moins 2 milliards de personnes et à limiter leurs perspectives d'un avenir meilleur (voir Changement climatique, chapitre 3) (WRI, 2008). Néanmoins, les coûts des tentatives d'endiguement de la récession économique mondiale actuelle ont été largement supérieurs aux montants alloués pour l'aide au développement officielle (Voir Gouvernance environnementale, chapitre 6) (Ban, 2008).

La pauvreté et l'environnement sont indissociables. Il est communément admis que la dégradation des

écosystèmes et l'épuisement des ressources naturelles sont exacerbés par des facteurs socio-démographiques, en particulier lorsqu'ils sont associés à la pauvreté (WRI, 2008 ; UN, 2008). La coexistence d'une croissance rapide de la population et de la dégradation de l'environnement a mis en évidence l'importance de la compréhension des relations complexes entre les sociétés, les écosystèmes et les gouvernances. Bien que les changements globaux apportés par l'homme aux écosystèmes aient contribué à d'importantes améliorations générales au bien-être de l'homme et au développement économique, celles-ci ne sont pas distribuées équitablement : elles se sont faites au prix d'un phénomène croissant et grave, à savoir la migration de la dégradation de l'environnement, l'augmentation des risques de mutations non linéaires et l'aggravation de la pauvreté au sein des populations les plus vulnérables (Holden et alii, 2006, WRI, 2008 ; Hazell et Wood, 2008).

La plupart des habitants des pays en développement, en particulier ceux qui vivent en zone rurale, sont tributaires de leur environnement naturel pour assurer leur subsistance. Une relation équilibrée entre les populations et leurs écosystèmes est primordiale lorsqu'il est question de la gestion durable des écosystèmes et de la lutte contre la pauvreté (IAASTD, 2008, WWF, 2008, UNEP, 2007). Les revenus dépendant des ressources naturelles représentent généralement plus de la moitié du flux de revenus totaux de la population rurale pauvre du monde (WRI, 2008). Selon des estimations fiables, le revenu de 90 % de la population rurale pauvre dépend, du moins en partie, des forêts (WRI, 2005). En Afrique rurale, l'agriculture composée des petites exploitations, sur laquelle reposent les économies des pays en développement, constitue la principale source de revenus pour plus de 90 % de la population (UN, 2008). En conséquence de ces dépendances critiques, les régions les plus pauvres et les communautés indigènes rurales ont constamment souffert de manière disproportionnée de la dégradation de l'environnement et de l'évolution des conditions climatiques et écosystémiques.

La proportion de population rurale pauvre augmente sensiblement dans les régions où la productivité agricole est insignifiante, et qui sont dépourvues de services et sujettes aux catastrophes naturelles. Dans ces conditions, pour survivre, les populations sont souvent contraintes de surexploiter les ressources voisines (Hazell et Wood, 2008). L'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO) estime que 7,8 millions d'hectares de forêts disparaissent chaque année pour la subsistance de l'agriculture à flanc de coteau et de l'agriculture nomade suite au recul du rendement des terres agricoles traditionnelles (FAO, 2008, FAO, 2008b). Les pressions exercées par des pratiques agricoles à faible rendement, le surpâturage, les activités de brûlis, l'exploitation abusive, la

déforestation et l'expansion des cultures dans les zones forestières menacent non seulement l'équilibre écologique d'un capital de ressources naturelles de plus en plus fragile, mais aussi les moyens d'existence et le bien-être des communautés qui dépendent de ces écosystèmes. Ceci engendre une boucle de rétroaction négative dans laquelle la pauvreté contribue à la dégradation des écosystèmes, qui à son tour favorise la pérennisation et l'intensification de la pauvreté (Wade et alii, 2008).

### Intégration de la gestion des écosystèmes dans la lutte contre la pauvreté

Les approches écosystémiques visant à soulager la pauvreté ont reçu une attention toute particulière ces dernières années. L'intégration des questions environnementales et de la gestion des écosystèmes aux stratégies de lutte contre la pauvreté est désormais au centre des programmes de développement durable (UNDP, 2007 ; WRI, 2008 ; Svadlenak-Gomez et alii, 2007). Etant donné l'écart considérable entre les revenus moyens et ceux du monde rural pauvre, ainsi que le rapport étroit entre ces populations et la terre et les écosystèmes naturels, les stratégies de développement ont peu de chances de succès si elles ne tiennent pas compte des circonstances, des connaissances, des capacités et des besoins environnementaux de la population rurale pauvre.

Avec un transfert délibéré vers un régime de gouvernance fort, la gestion des écosystèmes pourrait devenir un modèle puissant pour une entreprise axée sur la nature qui offre aux pauvres des avantages sociaux et économiques soutenus grâce à sa contribution au développement du capital de ressources naturelles, et qui soutient ces écosystèmes en proposant des services essentiels à l'échelle régionale et mondiale (WRI, 2008). Jusqu'à présent, les groupes les plus pauvres et les plus vulnérables de la société ne disposent pas des moyens ni de l'autonomisation nécessaires pour utiliser les entreprises axées sur la nature afin d'améliorer leur bien-être. Même lorsque les ressources sont abondantes, les revenus sont souvent monopolisés par l'élite, laissant les communautés rurales et leurs écosystèmes locaux dépourvus (Gardiner, 2008, FAO, 2007).

Le développement des communautés rurales pauvres nécessite des stratégies et processus novateurs encourageant les intérêts locaux tout en créant des capacités locales. Relever de tels défis était inhérent aux Objectifs du millénaire pour le développement. Pourtant, le dynamisme visant à atteindre ces objectifs faiblit.

Il est dès lors urgent de prendre des mesures. Nous traversons une crise économique mondiale ainsi qu'une crise de sécurité alimentaire, toutes deux d'une ampleur et d'une durée inconnues. Pendant ce temps, le changement climatique, généralement relégué au second

plan, est devenu plus évident, mais il est plus souvent considéré comme un phénomène ne pouvant être ignoré. Ces développements affecteront directement nos efforts de lutte contre la pauvreté : le ralentissement économique va diminuer le revenu des populations pauvres, la crise alimentaire va accentuer le problème de la faim dans le monde et entraîner des millions de personnes dans la pauvreté, et le changement climatique va affecter les pauvres de manière disproportionnée. La nécessité de répondre à ces préoccupations, par ailleurs urgentes, ne doit pas nuire à nos efforts à long terme de parvenir à atteindre les Objectifs du millénaire pour le développement (DAESNU, 2008).

### NOUVEAUX PARADIGMES DE GESTION

Les pratiques de gestion des écosystèmes continuent à évoluer en accord avec les avancées scientifiques, ce qui implique de reconsidérer les valeurs et principes fondamentaux, ainsi que la nature spécifique des interventions en matière de gestion. Le problème sous-jacent est finalement plutôt simple : les modes de gestion qui ne font pas écho à l'évolution des écosystèmes, et qui tardent à s'adapter, échoueront inévitablement, et entraîneront dans leur chute les sociétés qui se satisfont d'une mauvaise gestion.

Il est possible de se décourager devant un tel défi, mais de nouvelles avancées font renaître l'espoir. Plus nous parviendrons à dresser un portrait précis et holistique de la répartition des coûts et des bénéfices écologiques, ainsi que des compromis de nos actions, mieux nous serons placés pour formuler des réponses.

### Dégradation, conservation et productivité

Ces quarante prochaines années, la quantité de terres d'assolement disponibles par personne devrait être de moins de 0,1 hectare, en raison de limitations biologiques.



Agricultrices récoltant des feuilles de thé dans une plantation de Java-Occidentale, en Indonésie.  
Source : M. Edwards/ Still Pictures

Cela impliquerait la nécessité d'une augmentation de la production agricole à un niveau impossible à atteindre par le biais de méthodes conventionnelles (Montgomery, 2008). Suite à la baisse universelle de la qualité des sols engendrée par divers systèmes de culture intensive, l'urgence de la situation se fait de plus en plus ressentir. Le problème de la dégradation des sols, qui a touché 16 % des terres d'assolement dans le monde, présente de graves implications pour la productivité agricole et les écoservices plus généraux, notamment la biodiversité (Hazell et Wood, 2008).

Un nouvel organe de recherche scientifique s'intéresse aux modes de gestion de l'agriculture intégrés dans le milieu. Ceci impliquerait de passer du modèle conventionnel de fragmentation des cultures, selon lequel certaines zones se consacrent exclusivement à la production vivrière tandis que d'autres sont réservées à la préservation du milieu ou à d'autres utilisations (Scherr et McNeely, Holden et alii, 2008). Pendant des décennies, la préservation de la biodiversité et la productivité agricole semblaient incompatibles et s'annuler mutuellement. Les spécialistes de l'éco-agriculture contestent toutefois ces notions. Leur approche transforme des monocultures à grande échelle, très productives, se situant au niveau des exploitations agricoles en un système intégré, plus diversifié et à faibles intrants au niveau du paysage.

Etant donné les structures nécessaires de gouvernance, de stratégie et de gestion, ces nouvelles mosaïques d'utilisation des terres éco-agricoles pourraient soutenir la biodiversité tout en répondant aux demandes croissantes d'écoservices plus larges et en atteignant des objectifs critiques de durabilité agricole (Scherr et McNeely, 2008). En traitant la production alimentaire comme l'un des nombreux écoservices possibles, l'éco-agriculture encourage en un sens les propriétaires fonciers à cultiver des produits alimentaires tout en participant à un air pur, une eau douce, un sol fertile et une diversité biologique (**Encadré 2**).

Autrefois, des formes d'éco-agriculture ont été utilisées à des échelles impressionnantes : la terre noire d'Amazonie centrale Terra Preta présente environ trois fois plus de matières organiques, d'azote et de phosphore, et des concentrations en charbon de bois 70 fois supérieures aux sols environnants. La Terra Preta est un sol d'origine précolombienne auquel se sont ajoutées de grandes quantités de résidus carbonisés, de déchets organiques, d'excréments et d'ossements. Une production et une utilisation à grande échelle de la Terra Preta diminueraient la pression exercée sur les principales forêts qui subissent actuellement un défrichement extensif en faveur de la culture. Ceci permettrait de préserver la biodiversité tout en enravant la dévastation des terres et le changement climatique, voire d'apaiser les problèmes sanitaires et des déchets dans certaines communautés (Glaser, 2007).

### Augmentation graduelle des incitations financières

Le quatrième rapport du Global Environment Outlook (Avenir de l'environnement mondial) a attiré l'attention sur le rôle crucial que peut jouer l'environnement dans le développement et le bien-être de l'humanité. Il a également présenté un argument irréfutable selon lequel les écosystèmes de la Terre, ainsi que les biens et les services qu'ils offrent, génèrent d'extraordinaires opportunités économiques évaluées à plusieurs trillions de dollars (UNEP, 2007). Cette conclusion étaye le mouvement grandissant qui consiste à intégrer les stocks de notre capital naturel et de nos biens naturels dans nos efforts pour exploiter et effectuer une gestion des écosystèmes.

Ces dernières années, l'intérêt pour l'évaluation des écoservices, en particulier l'évaluation biophysique, ainsi que les recherches scientifiques effectuées à ce niveau ont sensiblement augmenté (Cowling, 2008). L'évaluation des écoservices a créé une base pour des interventions et des incitations financières novatrices qui représentent de solides instruments permettant d'adapter l'utilisation des biens et des écoservices, voire de redistribuer les flux d'avantages.

L'une des possibilités est un instrument en évolution rapide, appelé "paiement pour les services environnementaux" (PSE) et présentant un potentiel énorme. Le but est de s'assurer que les personnes, les groupes et les communautés sont rémunérés pour leurs efforts au niveau de la protection des fonctions environnementales cruciales. Cette approche fournit les plates-formes institutionnelles dont les populations pauvres et marginales ont besoin pour pouvoir se lancer dans une bonne gestion environnementale tandis qu'elles revendiquent les avantages économiques et autres qui apparaissent (WRI, 2008). De nouvelles initiatives pour augmenter graduellement les dispositions du PSE offrent la promesse de parvenir au progrès écologique et social sans que cela ne nuise à l'objectif principal consistant à équilibrer la conservation et le développement (Tallis, 2008 ; Svadlenak-Gomez, 2008). Grâce à un contrôle strict et une évaluation appropriée de l'écologie et du bien-être de l'humanité, le PES a pu offrir une solution importante contre la tendance qui vise à rejeter le poids des dégâts causés à l'environnement sur les pauvres et vulnérables générations futures (Schultz, 2008 ; WRI, 2008 ; Hazell et Wood, 2008).

### Compensation de la diminution de la déforestation

Les scientifiques et les experts sont d'accord sur le fait que la conservation des forêts tropicales représente aujourd'hui l'une des priorités au niveau de la gestion de l'écosystème central. Toutefois, la destruction de la forêt se poursuit au rythme sidérant de 13 millions d'hectares par an, ce qui correspond à une surface équivalente à la moitié du Royaume-Uni. Principalement attribuée à la

## Encadré 2 : Paysages semi-naturels et culturels : réservoirs de biodiversité et écoservices

La préservation de la biodiversité et des paysages est souvent considérée comme une transaction entre l'être humain et la nature : Une nature virginale, intacte, est jugée optimale, tandis que l'influence humaine sur l'écosystème est comme une intrusion indésirable. Les programmes de conservation qui limitent l'impact humain sur les écosystèmes naturels sont importants, mais la conservation des paysages semi-naturels est également nécessaire tant pour la biodiversité que pour les écoservices.

Historiquement, de nombreux paysages semi-naturels ont été développés en relation avec l'usage traditionnels de la terre par des sociétés sur de longues périodes de temps. Ces écosystèmes semi-naturels, ou paysages culturels, sont associés à des activités économiques traditionnelles. Les paysages culturels les plus courants, les prairies et les forêts gérées sont conservés dans un état stable mais artificiel au travers d'activités telles que le pâturage, la récolte fourragère, le dégageage de la litière du tapis forestier et la cueillette des ressources forestières. Ces activités altèrent des aspects environnementaux importants du paysage, dont les niveaux d'humidité, la pénétration de la lumière, les régimes de température et les cycles des éléments fertilisants. Bon nombre de ces sites présentent une biodiversité élevée et, qui plus est, contiennent un pourcentage plus élevé d'espèces rares ou menacées que les monocultures ou les écosystèmes naturels en marge des zones cultivées.



La ligne de partage des eaux de Coon Creek, dans le sud-ouest du Wisconsin, a été l'une des régions les plus lourdement érodées des États-Unis. Les progrès accomplis dans la restauration des sols et des terres agricoles ont revitalisé la forme et la fonction de ce paysage impressionnant.

Source : Jim Richardson

Traditionnellement, les paysages culturels étaient gérés pour la fourniture d'un écoservice particulier. Par exemple, les prairies d'Europe ont été gérées pour le pâturage et la production fourragère destinée au cheptel domestique. Les populations indigènes d'Amérique ont recouru à des incendies de forêt contrôlés pour créer des prairies boisées destinées à l'élevage des cervidés. En Amérique du Nord, des vergers sont entretenus pour la production de sirop d'érable. En Asie centrale, les forêts d'arbres fruitiers et oléagineux ont été gérées pour améliorer la production de ces importants produits alimentaires.

La plupart des écosystèmes d'Europe sont gérés ou semi-gérés. Toutefois, ces écosystèmes semi-naturels ont décliné tant en qualité qu'en quantité au cours du siècle dernier. Par exemple, en Finlande, les forêts et prairies gérées traditionnellement figurent parmi les habitats les plus menacés, la majorité d'entre elles étant actuellement menacées. En même temps, près d'un tiers des espèces menacées en Finlande se trouvent principalement dans ces forêts et prairies en danger.

En négligeant ces paysages, nous perdons non seulement un habitat important pour certaines espèces, mais tout simplement des paysages d'une valeur culturelle essentielle. Ces paysages ont une valeur esthétique et historique irremplaçable par le fait qu'ils fournissent des écoservices culturels. Les paysages semi-naturels et culturels ont inspiré de grands peintres, musiciens et poètes, et contribuent à la formation d'identités culturelles. La valeur esthétique des paysages culturels ressort à l'évidence de leur importance sur le plan touristique et de l'attrait qu'ils exercent sur de nouveaux résidents en provenance de zones urbaines.

Qu'est-ce que cela signifie pour la gestion future des écosystèmes, alors que l'impact humain sur chacun d'eux est perceptible ? Si l'homme est responsable de changements environnementaux massifs et d'extinctions d'espèces à grande échelle, nos précieux paysages culturels démontrent sa capacité à gérer durablement les écosystèmes. Bien que nous ayons besoin d'espaces sauvages, le temps est peut-être venu de revisiter le passé pour apprendre à gérer l'avenir.

Sources : Wittemyer et alii, 2008 ; Lindborg et alii, 2008 ; Furura et alii, 2008 ; MOE, 2007 ; Raunio et alii, 2008 ; Kareiva, 2007 ; Merchant, 2005 ; Schama, 1995

conversion des terres et à l'expansion agricole, la perte de la forêt tropicale représente environ 17 % de toutes les émissions de gaz à effet de serre, ce qui en fait une cause principale du réchauffement de la planète (Ceccon et Miramontes, 2008 ; IPCC, 2007). Il y a peu de temps encore, le rôle crucial des forêts tropicales dans le changement climatique était uniquement hypothétique ; il s'agit aujourd'hui d'une réalité avérée.

Cette reconnaissance a entraîné l'apparition du concept de "diminution compensée". La Réduction des Emissions liées à la Déforestation et à la Dégradation des Forêts (REDD) classe la lutte contre la déforestation parmi les activités donnant droit à la participation au marché international obligatoire des droits d'émission de carbone. Les paiements compensatoires de carbone offrent un dédommagement pour encourager les pays en développement à réduire et à stabiliser leur déforestation nationale en dessous du niveau historique déterminé précédemment (Voir Gouvernance environnementale, chapitre 6).

Des partisans enthousiastes avancent l'hypothèse que l'ensemble essentiel de nouvelles incitations visant à réduire les émissions de gaz à effet de serre que présente la REDD pourrait également offrir des bienfaits

supplémentaires : la conservation de la biodiversité, la protection des aires d'alimentation en eau, le renforcement des capacités dans les nations sur lesquelles s'étend la forêt tropicale et la réduction de la pauvreté des communautés rurales. En principe, les réductions compensées devraient accroître le bien-être des démunis grâce à la mise en place de contrats de répartition stables et de longue durée et de flux d'avantages non financiers destinés aux communautés rurales. Toutefois, dans la pratique, ces systèmes pourraient comporter de nouveaux risques pour des populations déjà vulnérables, notamment un accès limité aux terres, l'apparition de conflits à propos des ressources, la centralisation du pouvoir, ainsi que des effets de distorsion au niveau des systèmes économiques locaux (Preskett et alii, 2008). Bien que les propositions de mécanisme existantes pour la REDD insistent sur l'octroi d'avantages sociaux supplémentaires favorables aux pauvres, la plupart semblent confier la réalisation de ces objectifs au hasard.

### De la crise alimentaire à la renaissance agricole

Au printemps 2008, les prix des aliments de base avaient augmenté de manière fulgurante, mettant en péril la vie de dizaines de millions de personnes et provoquant des

manifestations et des émeutes de la faim dans 37 pays (Gidley, 2008). Il est possible que ces événements marquent l'arrivée d'une ère dans laquelle les inégalités relatives de longue date ont atteint un point de rupture pour les pauvres dans le monde.

Il est clair aujourd'hui que la gestion des écosystèmes et la sécurité alimentaire sont intimement liées. Dans de nombreuses régions, l'excédent de ressources biologiques et la marge d'erreur au niveau écologique ont disparu. Tandis que les sociétés se disputent des étendues de terre fertile et irrigable de plus en plus petites (et pour les lieux de pêche traditionnels) les menaces de plus en plus pressantes de changement climatique, d'effondrement de l'écosystème et d'augmentation de la population ont convergé de telle sorte que la question de la disponibilité future de nourriture est remise en question (**Encadré 3**). Les débats sont énergiques et litigieux, mais la question de la sécurité alimentaire a provoqué une panique politique mondiale en 2008 et va indubitablement continuer à occuper une place importante dans l'agenda international au cours des années à venir.

Il existe un consensus de plus en plus répandu au sein de la communauté internationale selon lequel notre système agricole mondial actuel doit être réorganisé et

rationalisé ; certains réclament une nouvelle révolution agricole (Montgomery, 2008 ; Wade et alii, 2008). Tandis que les problèmes en jeu sont complexes et impliquent diverses circonstances géopolitiques et agro-écologiques, les différences de fond sont aisément identifiables : l'intensification agricole via une accentuation accrue des apports technologiques et chimiques ou un mouvement vers une approche éco-agricole intégrée à plusieurs niveaux interdépendants (Hazell et Wood, 2008).

Les accomplissements de l'intensification passée de l'agriculture de la moitié à la fin du 20e siècle sont indéniables. Les avancées économiques et sociales qui caractérisent aujourd'hui l'Inde, la Chine et une grande partie de l'Amérique latine sont pour une grande part dues à cette intensification agricole. Le problème est que si le système agricole mondial qui a fait son apparition est indéniablement plus productif pour la moitié du 20ème siècle, sa pratique a précipité l'érosion et la salinisation des sols, la nitrification des masses d'eau et le recours excessif aux pesticides de synthèse, avec pour conséquence la perte des méthodes naturelles de lutte contre les parasites et autres écoservices, affectant la durabilité de l'agriculture. De même, les failles de la distribution de nos systèmes agricoles rendent des populations entières vulnérables aux chocs d'offre, comme nous l'avons observé en 2008 (Surowiecki, 2008). Malgré une production agricole améliorée dans de nombreux pays, nous sommes encore confrontés à des fossés immenses et tenaces qui ne cessent de s'élargir lorsqu'il s'agit de la capacité des sociétés à se nourrir elles-mêmes, et encore moins lorsqu'il s'agit de protéger les ressources futures et les écoservices (Hazell et Wood, 2008). Pour la plupart des pays en développement, la pauvreté enracinée et de plus en plus grave découle du fait que des millions de petits exploitants agricoles, parmi lesquels de nombreuses femmes, sont tout simplement dans l'incapacité de cultiver assez de nourriture pour subvenir aux besoins de leur famille, de leur communauté ou de leur pays (AGRA, 2008 ; Ngongi, 2008) (**Encadré 4**). Les bons rendements provenant de l'économie d'échelle dans les systèmes d'agriculture intensifiée ne s'appliquent pas au niveau de ces familles et communautés (Dossani, 2008).

Avec la croissance démographique constante et le rétrécissement de la surface des terres disponibles pour la production agricole, les coûts et les efforts nécessaires à la prévention d'une crise alimentaire mondiale sans précédent vont inévitablement augmenter pour les pays en développement. Il est possible qu'une nouvelle saisie de terres soit déjà en cours en Afrique, où les gouvernements et entreprises nantis se disputent certaines des dernières terres bon marché au monde, espérant ainsi assurer leurs propres disponibilités en nourriture et biocarburant sur le long terme. En 2008, un certain nombre de pays, dont le Soudan, l'Ethiopie et Madagascar, s'étaient

### Encadré 3 : Evitement de l'effondrement de l'écosystème marin au travers de prises fondées sur des droits

Pendant des décennies, les pêcheries mondiales ont effectué d'énormes ponctions sur les ressources et écoservices des océans de la planète, ce qui devient de plus en plus difficile à soutenir. Une étude récente, synthétisant 17 sources de données mondiales relatives à divers vecteurs humains de changement écologique, a utilisé une modélisation spatiale avec échelle imbriquée pour évaluer l'étendue globale des impacts des activités humaines sur les écosystèmes marins. Ses résultats sont consternants, en ce qu'ils révèlent que l'homme a influencé négativement tous les écosystèmes marins examinés, 41 % de ces derniers étant affectés par plusieurs facteurs humains.

Tandis que la pêche commerciale de l'ensemble du globe s'achemine vers un vaste effondrement en raison d'une surexploitation systématique et d'une mauvaise gestion permanente, des appels s'élèvent en faveur d'une approche écosystémique de la pêche. Des progrès ont été accomplis sur le plan de l'évaluation des stocks et de l'élaboration d'indicateurs spatiaux qui ont mené à la fixation de limites de captures scientifiquement plus crédibles pour certaines espèces. Toutefois, bon nombre des problèmes inhérents à la surpêche ont été institutionnalisés au travers d'une gouvernance médiocre de la pêche et d'une absence systémique de gestion des ressources. Ce manque de gestion a marginalisé de nombreux pêcheurs artisanaux, contraignant certains d'entre eux à se tourner vers d'autres activités économiques maritimes.

Le mouvement vers une approche écosystémique s'est opéré parallèlement à des efforts visant à stimuler des stratégies de gestion basées sur des primes et des mesures d'incitation réglementaires pour promouvoir la gestion. Une nouvelle étude de l'Université de Californie, Santa Barbara (UCSB) préconise une solution novatrice et controversée appelée "parts de capture basée sur des droits". Cette approche encourage la promotion d'un comportement écologiquement responsable en garantissant aux pêcheurs individuels une portion fixe du total admissible des captures. L'octroi aux pêcheurs d'une part des ressources naturelles (et des responsabilités corollaires), pourrait rapprocher les objectifs de régulation et de gestion, dont la durabilité, des incitations économiques des utilisateurs des ressources.

A l'instar des parts du capital social d'une société, les parts de captures sont négociables et donc sujettes aux signaux d'offre et de demande du marché, ce qui encourage leur bonne gestion. La valeur des parts de capture croît en même temps que s'améliore la gestion de la pêche et qu'augmentent les ressources halieutiques.

L'étude de l'UCSB, qui a porté sur des données de 11 135 pêcheries du monde entier, a révélé une corrélation saisissante entre la mise en œuvre de réformes concernant les parts de capture et la réduction, voire l'inversion, de la tendance à l'effondrement des ressources. L'étude pose en principe que des programmes de parts de captures bien conçus assurant aux pêcheurs des droits sur les ressources réduisent la probabilité d'effondrement de celles-ci de 9,0 à 13,7 %. Outre le fait qu'ils répondent aux problèmes de surpêche et de performances écosystémiques, les divers programmes basés sur les captures mis en œuvre en Nouvelle-Zélande, au Canada, au Mexique, au Chili et aux Etats-Unis ont contribué à accroître la capacité des individus et des collectivités vivant de la pêche à améliorer leurs moyens de subsistance.

Source : Costello et alii, 2008 ; Festa et alii, 2008 ; Halpern et alii, 2008 ; Mutsert et alii, 2008



Des pêcheurs artisanaux sur le fleuve Zambèze jettent un filet pour la pêche du jour. Source : David Gough / IRIN

embarqués dans des ventes de terres en gros dont les détails ont été en grande partie dissimulés. Bien des gens avancèrent alors des hypothèses quant à savoir si ces transactions comportaient des garanties pour les populations locales (Borger, 2008). Une autre nouvelle tendance implique une production alimentaire industrielle cultivée dans un pays par un autre. Le Soudan exporte du blé vers l'Arabie Saoudite ; du sorgho pour les chameaux vers les Emirats arabes unis ; et du blé, des haricots, des pommes de terre, des oignons, des tomates, des oranges et des bananes vers la Jordanie. Le Soudan fournit la terre, tandis que ses voisins apportent l'argent, la gestion, la science et l'équipement (Gettleman, 2008).

Un certain nombre d'institutions et d'organismes de recherche font pression pour que le rôle de l'agriculture dans sa quête d'un développement équitable et durable soit complètement repensé. Ils préconisent de plus en

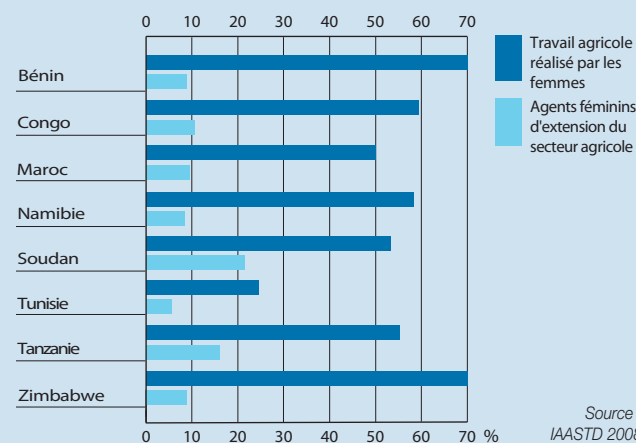
plus des approches de l'agriculture qui reconnaissent l'importance d'écoservices multiples. Une vaste évaluation intergouvernementale des connaissances agricoles, de la science et de la technologie, publiée en 2008, recommande un changement radical visant à se détourner des accroissements de la production basés sur la technologie afin de s'occuper des besoins des petits exploitants dans des écosystèmes diversifiés, en particulier dans des zones très vulnérables aux mutations des écosystèmes. L'étude, reconnaissant que ceux qui ont le moins bénéficié de la hausse de la productivité étaient les pauvres, plaide en faveur de l'amélioration des moyens d'existence de la population rurale, de l'appui des acteurs marginalisés, de l'amélioration des écoservices, de l'intégration de connaissances diversifiées et d'un accès au marché plus équitable pour les populations pauvres (IAASTD, 2008).

En novembre 2008, l'Organisation des Nations Unies

#### Encadré 4 : Rôle des femmes dans l'agriculture des pays en voie de développement

Une femme avec son enfant se prépare à la plantation dans la ferme coopérative des femmes Mshikamano à Bagamoyo, en Tanzanie, où une trentaine de femmes partagent une modeste parcelle pour la culture de fruits et légumes. Les rapports de genres socialement construits dans le secteur de l'agriculture sont des dynamiques importantes pour les systèmes d'exploitation agricole existants et constituent un formidable défi pour la restructuration agricole en cours. Dans la plupart des pays en voie de développement, le pourcentage de femmes rurales impliquées dans la production agricole et les activités d'après récoltes est beaucoup plus élevé que celui des hommes, dans une proportion inverse à celui des personnes actives dans les services de gestion de l'agriculture. En raison de la prolifération des cultures irriguées peu rémunératrices destinées à l'exportation, la demande de main-d'œuvre féminine ne cesse d'augmenter. Cette évolution a généré certains avantages, mais la situation des femmes rurales dans le monde doit être améliorée. Si elles sont exclues des rôles agricoles plus élevés et plus rémunérateurs, elles continueront à être confrontées à une dégradation de leurs conditions sanitaires et de travail, de leur accès à l'éducation et de leur droits à la terre et aux ressources naturelles.

Source : Tara Thompson



pour l'Alimentation et l'Agriculture a demandé que soit adopté un plan d'action immédiat sur un nouvel "ordre agricole mondial" afin de garantir que la production puisse répondre à la demande croissante face au changement climatique tout en poursuivant l'objectif de gestion durable des écosystèmes (FAO, 2008). Elle a proposé un nouveau système de gouvernance pour la sécurité alimentaire mondiale et les échanges agricoles qui offre aux petits exploitants, tant dans les pays développés qu'en développement, des moyens de subsistance décents (Diouf, 2008).

Dans ce nouvel ordre agricole mondial, pouvons-nous nous inspirer des expériences d'une agriculture très productive et à hauts rendements afin de définir un système éco-agricole rationnel ? Tandis que des apports chimiques et technologiques accrus peuvent entretenir le système de production agricole à court-terme, il devient de plus en plus difficile d'en assurer la continuité (Voir Substances nocives et déchets dangereux, chapitre 2) (Montgomery, 2008 ; Pretty, 2008). Tôt ou tard, les réalités existantes vont contraindre les responsables du nouveau paradigme agricole à atteindre un équilibre entre l'intégrité des écosystèmes et la production. Si cet équilibre peut être rapidement atteint, nous éviterons des chocs et un affolement inévitables découlant de pratiques routinières (Montgomery, 2008).

#### CONCLUSION

La première décennie du 21ème siècle touchant à sa fin, presque tous les écosystèmes de la planète ont subi des modifications significatives de leur structure et de leur fonction (Seastedt et alii, 2008). Ils ont tous été touchés, d'une façon plus ou moins importante, par l'activité

humaine. Celle-ci se manifeste le plus souvent par la déforestation généralisée, la conversion et la fragmentation des terres, la désertification, la perturbation des systèmes d'eau douce, la pollution et la surexploitation des écosystèmes marins, une charge excessive en éléments nutritifs, de graves modifications de la répartition des espèces, ainsi que la perte de biodiversité. Etant donné l'influence cumulative de l'humanité sur les écosystèmes terrestres et la perturbation consécutive des processus vitaux, notamment le cycle du carbone, de l'eau, de l'azote et du phosphore, une description des perspectives d'avenir des écosystèmes de la planète comme instables et incertaines serait encore trop optimiste.

Plutôt que de préserver des pratiques routinières qui permettent des dommages environnementaux et sociaux en cascade suite à une mauvaise gestion des écosystèmes, nous devrions concevoir des systèmes de gestion des écosystèmes limitant le gaspillage des ressources, développant l'autonomie des communautés et améliorant l'accès aux opportunités émergentes au sein des populations les plus vulnérables pour plus de résilience. Aborder la gestion des écosystèmes d'un point de vue industriel a augmenté la productivité au détriment de la qualité des sols, de l'eau, de l'atmosphère et de la santé écologique. Inspirées des idées communiquées par l'Evaluation des Ecosystèmes pour le Millénaire 2005, de nouvelles approches à l'étude suggèrent que la productivité peut être dissociée de la dégradation de l'environnement. Des seuils critiques imminents appellent à la mise en place immédiate de cette dissociation.





# Substances nocives et déchets dangereux

Les produits chimiques que nous utilisons pour produire de l'énergie, lutter contre les parasites, améliorer la productivité, catalyser les processus industriels et satisfaire aux besoins de santé humains (ainsi que ceux que nous mettons simplement au rebut) continuent à affaiblir les écosystèmes et à mettre en péril la santé humaine.



Rejets de nickel à Subury, Ontario, Canada.

Source : Edward Burtynsky

## INTRODUCTION

En l'espace d'un siècle, nous avons contaminé une partie importante de notre environnement. Il y a cent ans, Fritz Haber réussissait à synthétiser de l'ammoniaque à partir de l'hydrogène et l'azote atmosphérique. Utilisé dans les armes, l'ammoniaque a contribué à la prolifération des munitions et des explosifs au cours du vingtième siècle ; utilisé dans les engrais chimiques, il a permis à la population mondiale de passer de 1,9 milliard d'êtres humains en 1900 à près de 6,87 milliards en 2008 (Smil, 2001).

De manière encore plus significative, le processus de Haber a accéléré une ère de chimie industrielle à grande échelle. Les humains ont fait usage de la chimie de base pendant des milliers d'années. Toutefois, l'intensification des révolutions industrielle et chimique au cours du siècle dernier a introduit une myriade de nouveaux produits chimiques dans notre environnement et porté les

concentrations d'autres produits à des niveaux jamais atteints auparavant. La concentration des produits chimiques et la complexité des composés ont entraîné une série de répercussions environnementales (Erisman et alii, 2008).

Cinquante ans après la découverte de Haber, Rachel Carson a entamé sa recherche sur les effets environnementaux des composés complexes utilisés comme pesticides. Elle a contribué à lancer les sciences modernes de l'environnement et le mouvement écologique en publiant son livre influent, *Printemps silencieux*, en 1962. Des idées et termes alors exotiques, tels que bioamplification, bioaccumulation, polluants organiques rémanents, cancérigènes et empoisonnement aux métaux lourds sont depuis, malheureusement, devenus ordinaires.

Nous avons parcouru un long chemin dans la recherche des implications écologiques et sanitaires des

effets secondaires de nos progrès industriels et économiques. Toutefois, des incertitudes subsistent. Au cours des dernières décennies, nous avons abordé certains problèmes liés aux substances nuisibles et aux déchets dangereux par le biais de conventions internationales, de législations nationales et de mesures industrielles.

Toutefois, l'activité humaine génère des substances toxiques et dangereuses à une vitesse croissante et d'importantes quantités de composés dangereux contaminent l'atmosphère, les eaux et les sols nécessaires à la vie, avec un impact dévastateur susceptible de s'accroître. Les écosystèmes terrestres en pâtissent, tout comme un trop grand nombre des populations les plus vulnérables au monde, qui se trouvent le plus souvent à l'extrémité de réception de la contamination chimique : les enfants, les pauvres et les personnes marginalisées.

## Encadré 1 : De quoi est composé un jouet ?

Des fabricants ajoutent des phtalates aux produits plastiques pour les rendre souples et flexibles. Jusqu'en 1998, les phtalates étaient couramment utilisés pour fabriquer des jouets de bain, des anneaux de dentition et d'autres jouets pour nourrissons.

En 1998, une étude du Danish National Environmental Research Institute a montré que les phtalates entrant dans la fabrication de ces jouets tendent à s'échapper du matériau. Le Comité scientifique de la toxicité, de l'écotoxicité et de l'environnement de la Commission européenne a publié une déclaration à ce sujet, indiquant que l'expérimentation animale démontre que les phtalates peuvent avoir des effets négatifs sur la santé. Des cultures cellulaires et des essais sur des animaux attestent que, dans diverses concentrations, les phtalates peuvent avoir une toxicité testiculaire et ovarienne, une toxicité du développement et une toxicité hépatique, y compris en relation avec le développement de tumeurs.

Sur la base de cette expérimentation animale, les phtalates sont considérés comme des perturbateurs endocriniens, à savoir des produits chimiques capables d'interférer avec la production, la libération, le transport, le métabolisme, la liaison, l'action ou l'élimination d'hormones naturelles responsables du métabolisme normal et essentielles pour une croissance et un développement normaux.

Les rappels de jouets en 2007, par ailleurs sans relation avec les phtalates, déclenchés par la découverte de peinture au plomb dans des produits fabriqués en Chine, ont débouché sur une série de nouvelles réglementations en matière de toxicité portant sur un vaste éventail de produits pour enfants. En 2008, les Etats-Unis ont adopté le Consumer Product Safety Improvement Act destiné à interdire des quantités excessives de certaines substances dans les produits pour enfants, dont les perturbateurs endocriniens potentiels tels que les phtalates. Dans le même temps, le groupe d'études spécial de l'OCDE sur l'essai et l'évaluation des perturbateurs endocriniens mis en place en 1996 pour élaborer des méthodes de test permettant d'identifier les perturbateurs endocriniens, a affiné des approches analytiques de la détermination des effets toxicologiques des composés. Les perturbateurs endocriniens sont également visés par le sixième programme-cadre pour la recherche et le développement technologique 2002-2006 de l'UE et le seront de nouveau par septième programme-cadre de recherche, développement technologique et activités de démonstration pour la période 2007-2013.

Sources : ICIS, 2008 ; WHO/DEPA, 2004 ; Schettler, 2005 ; Canadian Cancer Society, 2008 ; Wolff, 2006 ; EC, 2008.



Jusqu'en 1998, de nombreux jouets pour nourrissons contenaient des phtalates afin de les rendre plus souples à la mastication.

Source : Viktoriya Bankova

## SUBSTANCES DANGEREUSES DANS LES ALIMENTS ET LES BOISSONS

La globalisation du commerce des aliments a été rendue possible grâce aux progrès technologiques accomplis dans les domaines de la production, du traitement, de la manutention et de la distribution des denrées alimentaires. La mondialisation de l'approvisionnement alimentaire a augmenté le risque de contamination et de rupture de la chaîne alimentaire. Les filières d'approvisionnement multicouches caractérisées par une traçabilité et une transparence médiocres sont particulièrement vulnérables. Les menaces de contamination par des substances nuisibles de l'approvisionnement alimentaire ne sont pas nouvelles mais, en 2008, une série de scandales ont placé la sécurité alimentaire et la garantie de la qualité au rang des grandes priorités de l'agenda global (Encadré 1).

### Composants nuisibles dans l'alimentation

En mars 2008, des niveaux dangereux de teneur en dioxine ont été détectés dans du fromage mozzarella de la région italienne de Calabre, qui inclut les provinces de Caserte, de Naples et d'Avellino. En conséquence, l'Union européenne (UE) a demandé que l'Italie veuille à rappeler le fromage contaminé et à ce qu'il ne soit pas exporté (Reuters, 2008 ; Willey, 2008). Sur 130 sites de production de mozzarella contrôlés par les autorités italiennes, 25 présentaient des niveaux de dioxine supérieurs aux limites fixées par l'UE (BBC, 2008b). Les dioxines sont des sous-produits d'un vaste éventail de procédés de fabrication dont la fonte, le blanchiment au chlore de la pâte à papier et la production de certains herbicides et pesticides (WHO, 2007). Toutefois, dans les cas calabrais, les autorités pensent que les pâturages pourraient avoir été contaminés par des déchets industriels toxiques, déversés illégalement par les syndicats du crime organisé qui dominent le secteur italien d'élimination des déchets (Saviano, 2007 ; Willey, 2008).

L'exposition à de faibles niveaux de dioxines n'est pas rare dans notre environnement dans des circonstances normales. De faibles quantités de dioxine sont consommées quotidiennement par le biais d'aliments contaminés et de l'exposition environnementale (Sato et alii, 2008). Si les effets d'une exposition à de faibles niveaux sur une longue durée sont mal connus, une exposition aiguë à des concentrations élevées peut avoir des conséquences graves. Une exposition à court terme des humains à des niveaux élevés de dioxines peut entraîner des lésions cutanées et altérer la fonction hépatique, tandis qu'une exposition à long terme peut affecter le système immunitaire, le développement du système nerveux, le système endocrinien et les fonctions de reproduction. L'exposition chronique d'animaux à des dioxines a occasionné plusieurs types de cancer (WHO, 2007). Dans certaines zones de la région italienne de Campanie, où les décharges toxiques sont particulièrement

problématiques, la mortalité due au cancer et les malformations congénitales ont sensiblement augmenté par rapport aux chiffres nationaux (Comba et alii, 2006).

En septembre 2008, les citoyens chinois ont appris que des tests effectués par le gouvernement avaient détecté la présence de mélamine, produit chimique toxique capable d'augmenter artificiellement les mesures de teneur en protéines dans les tests standard, dans le lait liquide utilisé pour fabriquer différents produits laitiers. Le lait chinois contaminé a rendu malades près de 53 000 enfants en bas âge : 47 000 ont été hospitalisés, 6 240 cas de calcul rénal ont été répertoriés et au moins quatre bébés sont décédés suite à l'ingestion d'une préparation pour nourrissons frelatée (WHO, 2008). Les études menées par l'agence d'inspection nationale chinoise ont montré que certains produits d'au moins 22 producteurs laitiers contenaient de la mélamine, notamment des préparations pour nourrissons dont les teneurs variaient de 0,09 milligrammes par kilo (mg/kg) à la concentration ahurissante de 6 191,0 mg/kg. En fin d'année, l'Organisation mondiale de la santé (OMS) a annoncé que le niveau d'absorption quotidienne tolérable de mélamine était de 0,2 mg par kg de poids corporel (WHO, 2008).

Au moins deux sociétés ont exporté des produits vers le Bangladesh, le Burundi, le Myanmar, le Gabon et le Yémen. En Afrique, de la Côte d'Ivoire dans l'ouest à la Tanzanie dans l'est, plusieurs gouvernements ont rejoint la liste des pays bloquant les produits laitiers chinois pour éviter de s'exposer au risque d'empoisonnement à la mélamine. Bien que l'OMS n'ait signalé des cas d'intoxication qu'en Chine continentale, à Hong Kong, à Macao et à Taïwan, elle a mis en garde d'autres pays (Magnowski, 2008).

Un mois plus tard, en octobre 2008, deux scandales alimentaires sans relation ont balayé le Japon. Premièrement, deux producteurs majeurs du secteur agroalimentaire ont rappelé environ un demi-million de paquets de nouilles instantanées après la découverte d'une contamination aux insecticides (Demetriou, 2008). Ensuite, deux jours plus tard, le premier transformateur de viande du pays a volontairement rappelé 13 produits après avoir découvert que l'eau souterraine utilisée dans son usine à proximité de Tokyo contenait des concentrations élevées de composés cyanurés (Demetriou, 2008). Ce rappel portait sur près de 2,7 millions de paquets de saucisses et de pizza commercialisés au Japon. Les tests effectués ont révélé la présence de teneurs en cyanure jusqu'à trois fois supérieures aux limites fixées par le gouvernement dans l'eau de puits normalement utilisée pour la transformation industrielle des produits (Daily Express, 2008). Le 6 décembre, la Food Safety Authority of Ireland (FSAI - Autorité irlandaise de sécurité des aliments) a rappelé tous les produits dérivés du porc commercialisés depuis le 1er septembre 2008. Des tests

## Encadré 2 : Déchets électroniques, le cyber-cauchemar

Les déchets électroniques sont désormais considérés comme le segment des flux de déchets municipaux connaissant la croissance la plus rapide aux États-Unis. Le National Safety Council estimait, en 2004, qu'en 2009, 250 millions d'ordinateurs seraient devenus obsolètes. Selon la Silicon Valley Toxics Coalition et le Basel Action Network, jusqu'à 80 % du matériel abandonné par les Nord-Américains dans les installations de recyclage communautaires finissent par être conditionnés pour l'exportation.

Ce qu'il se passe après l'exportation peut varier. Au Nigéria, par exemple, existe un marché organisé et solide pour la réparation et la rénovation d'anciens équipements électroniques tels que des ordinateurs, des moniteurs, des téléviseurs et des téléphones mobiles. En revanche, les revendeurs d'ordinateurs à Lagos se plaignent du fait que jusqu'à 75 % des 400 000 unités qu'ils reçoivent mensuellement d'agences de recyclage ne sont pas économiquement réparables ni commercialisables. Par conséquent, les déchets électroniques qui sont légalement considérés comme dangereux sont mis au rebut et habituellement incinérés de manière peu sûre et non réglementée.

La situation est encore pire à Guiyu, en Chine, ville industrielle où pullulent les entreprises de recyclage qui reçoivent quelque 80 % des déchets électroniques recyclés des USA. Pour récupérer le cuivre, l'or et d'autres matériaux précieux contenus dans les produits électroniques, le secteur du recyclage à Guiyu emploie des ouvriers souvent dépourvus d'équipements de protection adéquats. Dans la plupart des cas, la seule mesure de précaution prise par les travailleurs pour réduire l'exposition aux fumées toxiques consiste à utiliser des ventilateurs ménagers portables.



A Guiyu, Guangdong, Chine, un enfant attend patiemment au milieu de déchets de composants électroniques.

Source : Greenpeace/ Natalie Behring

En raison de cette activité, les sols de Guiyu présentent des concentrations en dioxines et métaux lourds parmi les plus élevées au monde, qui affectent gravement la santé des résidents. L'environnement local est dévasté : les sources d'eau sont contaminées et l'eau potable doit être acheminée par camion. Les habitants ne peuvent pas cultiver leur propre nourriture parce que les sols sont totalement infectés. Pour survivre, ils doivent travailler dans l'industrie du recyclage, ce qui contribue à dégrader leur santé et leur environnement, et à les rendre à la fois plus vulnérables et plus dépendants des activités de recyclage.

Le recyclage des cartes de circuits imprimés est l'une des sources majeures de rejet de métaux lourds dans l'environnement de surface. En 2008, les analyses ont révélé des concentrations moyennes très importantes en plomb, cuivre, zinc et nickel dans la poussière des ateliers de recyclage et des routes adjacentes. Dans les ateliers de recyclage, les concentrations en plomb étaient de 269 à 2 426 fois supérieures à celles admises en Europe. Les concentrations en cuivre et en zinc étaient respectivement de 31 à 994 et de 7 à 73 fois supérieures aux normes européennes. Les concentrations en plomb et en cuivre mesurées dans la poussière des rues à proximité des ateliers de recyclage étaient respectivement 371 fois et 155 supérieures à celles relevées sur des sites de la région ne traitant pas de déchets électroniques. La même étude a révélé que les marchés alimentaires et les espaces publics étaient également contaminés par des concentrations élevées en métaux lourds.

Ce recyclage informel des déchets électroniques fait peser un risque grave sur la santé des résidents locaux, en particulier des enfants et des travailleurs. En comparaison des adultes, le risque sanitaire potentiel pour les enfants, tous lieux confondus, est huit fois plus important, en raison de taux d'ingestion supérieurs et d'une masse corporelle inférieure. Parmi les effets sanitaires sur les résidents figurent des anomalies congénitales, des dommages aux systèmes nerveux central et périphérique, des altérations de la composition sanguine, des pathologies pulmonaires, hépatiques et néphrétiques, ainsi que des décès.

Sources : Royte, 2006 ; Huo et alii, 2007 ; Bi et alii, 2007 ; HRA, 2008 ; Leung et alii, 2008.

de routine avaient en effet mis en évidence des concentrations de dioxine inacceptables dans la viande. Les enquêteurs ont déterminé que le composé avait été introduit par le biais d'aliments pour animaux contaminés dans 10 fermes produisant ensemble 10 % de l'approvisionnement en porc du pays (FSAI, 2008). De tels composés dangereux et autres métaux lourds nocifs peuvent être introduits dans les écosystèmes et les eaux par de nombreuses activités humaines, notamment le recyclage (**Encadré 2**).

### Composés dans l'eau

Des composés cyanurés peuvent atteindre des formations aquifères et des écosystèmes aquatiques à cause d'un grand nombre de processus industriels, dont l'électroplastique et le trempage de métaux, l'extraction d'or et d'argent à partir de minerais, la combustion et la gazéification de charbon, ainsi que la fumigation de bateaux, conteneurs, fourgons, bâtiments et autres structures (WHO, 2007b). Entre 1975 et 2000, plus de 30 fuites accidentelles importantes de cyanure dans les systèmes hydrologiques ont été rapportées, dues à des incidents lors du transport et à des défaillances de canalisations (Mudder and Botz, 2000). Parmi les symptômes d'exposition aiguë au cyanure contenu dans de l'eau de boisson contaminée figurent les altérations cardiovasculaires, respiratoires et neuro-électriques (WHO, 2007b). Il semble que le cerveau soit l'organe le plus sensible à la toxicité du cyanure.

Contrairement au cyanure, les effets sur l'être humain des eaux de boissons contaminées par l'arsenic sont bien documentés. Cela est dû au fait que des effets graves sur la santé ont été observés dans le monde entier au sein de populations ingérant de l'eau à forte teneur en arsenic pendant des périodes prolongées. Si la plupart des eaux du monde contiennent naturellement peu d'arsenic, des concentrations naturelles excessives ont été mesurées dans certaines zones du bassin du Bengale (WHO, 2001a). L'arsenic est stocké dans les tissus adipeux plus rapidement que les systèmes digestif et d'élimination du corps ne peuvent le traiter (Indu et alii, 2007). En raison de ce processus de bioaccumulation, l'ingestion d'eau riche en arsenic pendant une période de 5 à 20 ans mène à un empoisonnement à l'arsenic. Celui-ci peut occasionner des cancers de la peau, de la vessie, des reins et des poumons, ainsi que des maladies qui affectent les vaisseaux sanguins des jambes et des pieds. L'empoisonnement à l'arsenic peut également provoquer le diabète, l'hypertension et des troubles de la reproduction (WHO, 2001b).

Au cours des deux dernières décennies, une contamination par l'arsenic des nappes phréatiques a été détectée dans un nombre croissant de pays d'Asie du Sud (Van Geen, 2008). La contamination naturelle par l'arsenic dans cette région dépend de la géologie amont, mais peut être accentuée par des pratiques d'utilisation

des terres dans les zones de captage des principales rivières qui drainent et distribuent des sédiments et des déchets anthropogéniques (Khalequzzaman et alii, 2008). Dans les zones inondables du Bangladesh, du Bengale occidental et de l'Inde, l'eau souterraine est extraite de millions de puits privés en réponse à l'importante contamination des eaux de surface par des agents pathogènes microbiens (Michael et Voss, 2008). Quelque 30 % des puits privés au Bangladesh présentent des niveaux élevés d'arsenic, de plus de 0,05 milligrammes par litre, et plus de la moitié des unités administratives du pays sont affectées par des eaux de boisson contaminées (Khalequzzaman et alii, 2008). Plusieurs autres pays ont détecté des niveaux élevés de concentration en arsenic dans les eaux de boisson, dont l'Argentine, le Chili, la Chine, la Hongrie, le Japon, le Mexique, la Mongolie, la Pologne, Taïwan et les États-Unis.

Compte tenu de la pollution naturelle de fond en arsenic, en plomb, en mercure et autres composés, les ajouts de processus industriels sont malvenus. Les pics de pollution dus aux accidents industriels peuvent être catastrophiques pour les collectivités environnantes (**Encadré 3**).

### HISTORIQUE DE LA CONTAMINATION AU MERCURE

Comme l'arsenic, le mercure, métal lourd toxique, s'accumule bioécologiquement. Une exposition chronique à une eau riche en mercure entraîne donc un empoisonnement possible. Le mercure est naturellement présent dans certains écosystèmes, même s'il l'est

généralement dans des concentrations infimes. Une série de pratiques industrielles et extractives liées à l'activité minière et au débitage du bois déchargeant des concentrations toxiques de mercure (**Figure 2**).

Celles-ci menacent les personnes et l'environnement, en particulier les populations vulnérables situées dans des zones isolées, qui sont directement exposées à une surexploitation peu sûre des ressources naturelles et aux déversements industriels.

Le mercure métallique et d'autres composés mercuriques inorganiques peuvent occasionner de graves problèmes de santé mais sa forme la plus dangereuse est le méthylmercure organique. Celle-ci peut être produite biologiquement dans des environnements aquatiques, notamment dans des barrages réservoirs hydroélectriques. Le mercure métallique s'accumule dans les fonds de réservoir pauvres en oxygène où il est transformé en méthylmercure biodisponible par des bactéries, avant de réintégrer la chaîne alimentaire, pour finir par s'accumuler biologiquement dans le poisson (Boudou et alii, 2005 ; Pinheiro et alii, 2007).

Le mercure est une substance profondément toxique (Marques et alii, 2007). L'exposition au mercure est particulièrement dangereuse pour les enfants en croissance et les embryons (ATSDR, 1999). Même de faibles niveaux d'exposition au mercure résultant de la consommation par une femme enceinte de méthylmercure à partir de sources diététiques peuvent occasionner un dommage irréversible au cerveau et des interruptions du développement neurologique des enfants. Des effets sur la mémoire, l'attention,

l'expression verbale et d'autres compétences ont été identifiés chez des enfants exposés à des niveaux modérés de méthylmercure in utero (Heartspring, 2008).

### Cas d'empoisonnement au mercure

Le cas de Minamata, modeste village de pêcheurs japonais, révèle le potentiel d'un empoisonnement au mercure étendu. En 1932, des fabricants de plastique ont commencé à déverser du mercure dans la baie de Minamata. Au début des années 1950, la production de plastique a explosé, tout comme les symptômes d'empoisonnement au mercure, d'abord chez les poissons, ensuite chez les chats, puis finalement chez les humains. Fin 1956, des chercheurs en épidémiologie et en médecine ont déterminé que la maladie, caractérisée par des troubles de la motricité, des difficultés d'expression orale et des convulsions, était due à un empoisonnement par métal lourd résultant de la consommation de poissons et crustacés contaminés (Allchin, 1999). Une génération plus tard, dans les années 1970, les effets de la "maladie de Minamata" se faisaient encore sentir : des mères contaminées pendant leur jeunesse donnaient naissance à des enfants souffrant de pathologies graves telles que déformation des membres, retard mental, surdité et cécité (Kugler, 2004).

La contamination au mercure a également menacé pendant de nombreuses années des populations indigènes du Canada. À la fin des années 1960, l'exposition et le risque important pour la santé d'un empoisonnement au mercure ont été remarqués pour la première fois dans deux communautés Ojibwa du nord-ouest de l'Ontario, à Grassy Narrows et Whitedog, implantées dans le réseau hydrographique English-Wabigoon (Kinghorn et alii, 2007 ; INAC, 2008). Le réseau hydrographique avait été contaminé par les rejets de mercure d'une usine chimique fournissant une papeterie située en amont, dans la petite ville de Dryden. Le mercure présent dans les déchets s'était transformé en méthylmercure dans l'écosystème aquatique, puis bioaccumulé en concentrations importantes dans le poisson dont se nourrissaient les populations vivant en aval (Wheatley et Paradis, 2005). En 1975, les concentrations en mercure mesurées dans le poisson variaient de 0,47 à 5,98 parties par million (ppm), alors que les directives du Canada pour la santé fixaient à entre 0,5 et 1,0 ppm les concentrations en mercure maximales admissibles pour les diverses espèces de poisson consommées par l'être humain (Health Canada, 2007).

À ce jour, le Canada compte des dizaines d'installations industrielles utilisant et déversant du mercure à proximité de communautés indigènes. L'Inventaire national des rejets de polluants (INRP) d'Environnement Canada de 2006, dernière édition disponible, fait état d'un total de 172 installations situées dans un rayon de 50 kilomètres de 135 communautés dans l'ensemble du pays (NPRI,

#### Encadré 3 : Déversement de cendres de charbon dans le Tennessee

La cendre de charbon est un résidu particulière de suie contenant des particules résultant de la combustion de charbon dans des centrales électriques et des usines. Dans de nombreuses régions, les industries utilisant du charbon pour produire de l'énergie sont légalement tenues d'éliminer les cendres (contenant des agents cancérigènes, de l'arsenic, du plomb, du sélénium et d'autres composés nuisibles) des fumées d'échappement avant leur évacuation par les cheminées. Ce "nettoyage" des cendres a empêché le rejet dans l'atmosphère de tonnes de polluants particuliers toxiques depuis sa généralisation dans les 1970. En revanche, au fil des ans, les cendres se sont accumulées et leur stockage est devenu problématique.

En pleine nuit du 22 décembre, dans l'Etat du Tennessee, une digue de confinement du bassin de cendres s'effondrait. Près de 4 milliards de litres de boues de cendres de charbon se déversèrent dans un réseau de rivières et une vallée proche, étalant dans la zone inondable entourant la centrale de Kingston Fossil Plant une couche de vase de plus d'un mètre d'épaisseur.

Pour la seule année 2007, la centrale de Kingston Fossil Plant a déclaré à l'Environmental Protection Agency (EPA) le dépôt de 20 000 kg d'arsenic, 22 000 kg de plomb, 630 000 kg de baryum, 41 000 kg de chrome et 63 000 kg de manganèse dans le bassin de confinement. Le bassin avait accumulé de tels déchets pendant des décennies.

La Tennessee Valley Authority (TVA), entreprise publique propriétaire du site, a fait une déclaration publique commune avec l'EPA et d'autres agences, recommandant d'éviter tout contact direct avec les cendres et d'écarter les animaux domestiques et les enfants des zones touchées. Les résidents locaux s'inquiètent des risques auxquels ils seront exposés lorsque les boues auront séché et seront emportées par les vents, ou qu'elles auront percolé dans les puits et d'autres sources d'eaux. La TVA, l'EPA, d'autres agences gouvernementales et des groupes environnementaux ont commencé à analyser des échantillons d'eau prélevés sur divers sites en aval.

L'incident met en relief les dangers potentiels du stockage à long terme de matériaux dangereux en général et de cendres de charbon en particulier. À mesure que des réglementations plus strictes concernant la qualité de l'air s'appliquent aux milliers d'usines à charbon dans le monde entier, les options de stockage ou de réutilisation sûre des cendres de charbon deviennent une priorité de plus en plus importante (voir Rendement des ressources, chapitre 5).

Sources : Dewan, 2008 ; EPA, 2007 ; EPA, 2008 ; NRC, 2006 ; Sturgis, 2008 ; TVA, 2008

2006 ; Schertow, 2008). Une analyse préliminaire testant des populations indigènes dans 514 communautés natives du pays pour mesurer la contamination au méthylmercure entre 1970 à 1992 a révélé que 23 % des individus présentaient une concentration supérieure à 20 microgrammes par litre de sang et que 1,6 % présentaient des niveaux supérieurs à 100 microgrammes par litre (Wheatley et Paradis, 2005). L'analyse d'échantillons sanguins de 2 405 cordons ombilicaux a montré qu'environ 22 % présentaient des niveaux supérieurs à 20 microgrammes par litre, soit le niveau maximal admissible pour les adultes et plus du double de la limite de 9 microgrammes par litre de sang fixée pour les femmes enceintes par les directives canadiennes. Le niveau de concentration maternelle le plus élevé détecté était de 86 microgrammes par litre (Wheatley et Paradis, 2005).

### Rejets de mercure en Amazonie

En 1975, la ruée vers l'or a commencé dans la région de

l'Amazonie et, au début des années 1980, une importante augmentation de la prospection d'or a répondu à l'augmentation des prix du précieux métal sur le marché mondial (Sing et alii, 2003). A l'échelle de l'industrie artisanale, la manière la plus courante d'extraire de l'or à partir du minerai est la méthode de concentration au mercure. Cette méthode consiste à utiliser du mercure métallique pour le lier aux paillettes d'or qui se trouvent dans le minerai finement broyé, puis à séparer les composants minéraux indésirables. Pour séparer l'or de l'amalgame obtenu, le matériau est chauffé en vue de libérer le mercure par évaporation (Da Costa et alii, 2008). Les activités d'extraction d'or à petite échelle dans le bassin de l'Amazone, qui utilisent cette méthode, rejettent des quantités importantes de mercure dans l'environnement : entre 5 et 30 % du mercure sont rejetés dans les cours d'eau et quelque 55 % vaporisés dans l'atmosphère (Sing et alii, 2003). Les compagnies minières officielles, qui extraient de l'or à grande échelle, n'utilisent plus cette méthode en raison des dommages

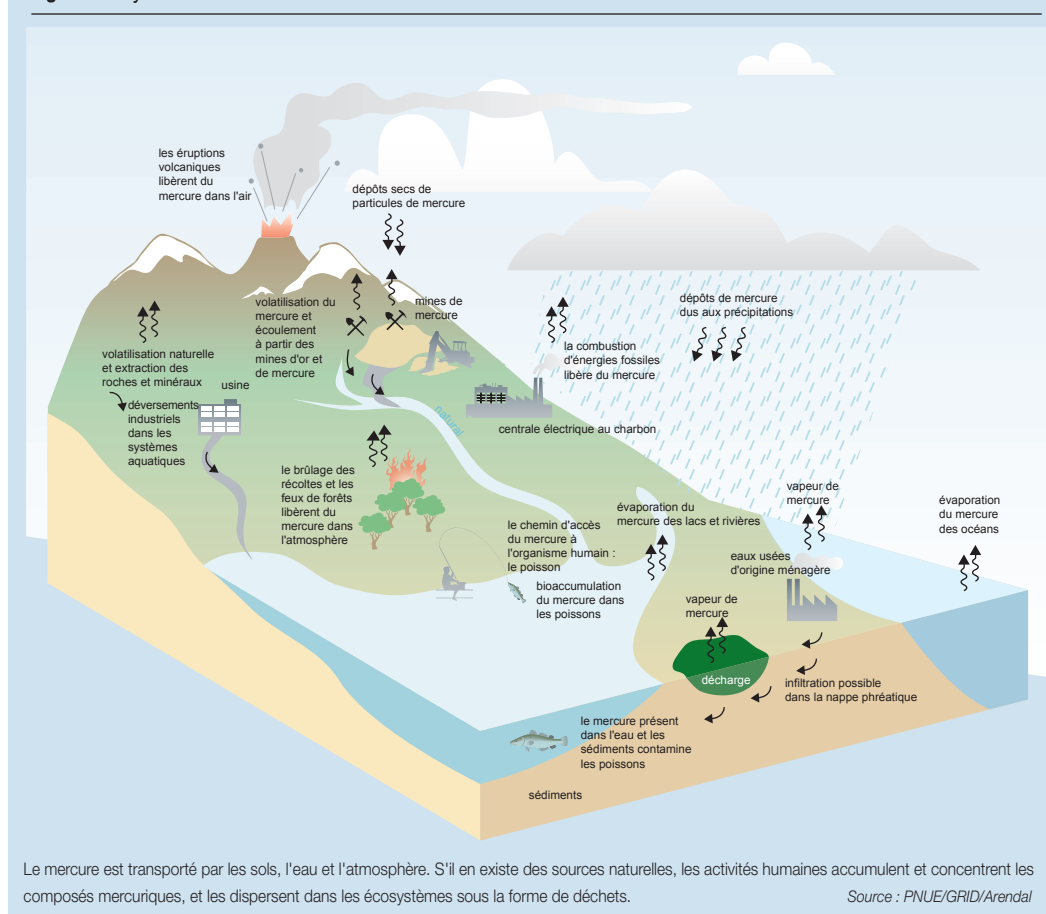
sanitaires et environnementaux résultant du traitement au mercure (Da Costa et alii, 2008).

La quantité totale de mercure rejetée dans les écosystèmes environnants ne peut être qu'estimée car l'usage du mercure en relation avec les activités d'extraction d'or dans le bassin amazonien n'est ni surveillé ni réglementé. Selon des études menées en 1988, 1,32 kg de mercure sont dissipés dans l'atmosphère pour chaque kilo d'or produit dans la région amazonienne (Pfeiffer et Lacerda, 1988). Selon d'autres estimations, les activités minières artisanales utilisent trois kilos de mercure pour produire un kilo d'or, mais 60 % du mercure sont ensuite récupérés, le bilan net des émissions de mercure étant de 1,2 kg par kilo d'or produit (Lacerda, 2003). Entre 1975 et 2002, l'exploitation d'or dans l'Amazonie brésilienne a produit environ 2 000 tonnes d'or et rejeté près de 3 000 tonnes de mercure dans l'environnement (Lacerda, 2003). La plus grande partie du mercure évaporé se condense et retombe sous forme de pluie dans un rayon de 40 km de la source d'émission (Bastos et alii, 2006).

En même temps, les concentrations en mercure dans de nombreux sols amazoniens sont naturellement élevées (Bastos et alii, 2006 ; Kehrig et alii, 2008). Dans les sols forestiers, les concentrations en mercure sont de 1,5 à 3,0 supérieures à celles observées dans les herbages. Cela est attribué aux pratiques agricoles sur des terres déboisées, qui mobilisent le mercure présent dans les sols forestiers et la biomasse par érosion, puis le libèrent dans l'atmosphère et l'eau (Lacerda et alii, 2004 ; Almeida et alii ; 2005 ; Marques et alii, 2007 ; Kehrig et alii, 2008). Les taux de déboisement dans la région amazonienne ont quasiment doublé de 2000 à 2005 en raison de l'ouverture de la voie navigable de la rivière Madeira, de la planification de barrages hydroélectriques dans l'Amazonie brésilienne et bolivienne et de la "course au soja" qui a déjà entraîné une déforestation à grande échelle dans les Etats du Rondonia et d'Amazonie (Bastos, 2006).

L'extraction d'or, les changements d'utilisation des terres et les projets de barrage hydroélectrique en Amazonie contribuent ensemble à l'augmentation de la contamination au mercure des écosystèmes aquatiques, des populations piscicoles et des êtres humains vivant dans les communautés qui en dépendent (Kehrig et alii, 2008 ; Marques et alii, 2007). Les concentrations en mercure élevées dans les poissons d'Amazonie constituent une menace pour la nature et la santé humaine connue depuis plus de 15 ans (Kehrig et alii, 2008). Comme la consommation moyenne de poisson en Amazonie peut atteindre un quart de kilo par jour, même des concentrations relativement faibles en mercure peuvent entraîner une exposition élevée et une bioaccumulation dans la population humaine (Boischio et Henshel, 2000 ; Bastos et alii, 2006).

Figure 2 : Cycle de vie du mercure



L'absence de réglementation et de contrôle concernant les pratiques d'extraction d'or et de conversion des terres dans la région amazonienne fait peser une menace sérieuse sur les populations et les écosystèmes amazoniens. La contamination au mercure des sols, des sédiments et des ressources biologiques aquatiques nécessite une meilleure évaluation et régulation, basée sur une approche élargie et systématique, qui rende compte de tous les facteurs influençant les dynamiques du mercure dans l'environnement amazonien (Bastos et alii, 2006 ; Barbieri et Gardon, 2007 ; Kehrig et alii, 2008). Il convient de modifier les pratiques locales pour s'orienter vers des pratiques plus durables afin de réduire l'épuisement des éléments fertilisants à long terme, ralentir le rythme de la déforestation et, en définitive, de mobiliser moins de mercure naturel pour la contamination des sols et des eaux (Farella et alii, 2007). Les activités d'extraction d'or en Bolivie et au Pérou, ainsi que la conversion des terres qui en résulte, se développent actuellement dans des zones protégées et des territoires indigènes abritant des lieux riches en biodiversité et des ressources culturellement importantes (**Encadré 4**) (Earthworks, 2006 ; Conservation International, 2002).

### LE VISAGE DE LA NANOTECHNOLOGIE

La nanotechnologie fait référence au monde de l'extrêmement petit. Les définitions incluent généralement la manipulation ou l'exploitation de matériel dont au moins une dimension mesure moins de 100 nanomètres. Un nanomètre est égal à un milliardième de mètre. Pour se figurer cette échelle, il faut concevoir qu'une virgule s'étend sur environ un demi-million de nanomètres alors



Source : Jose Luis Conceicao

Exploitation d'extraction d'or artisanale le long du Rio Juma dans la municipalité de Novo Aripuana, Amazonie, Brésil

### Encadré 4 : Exploitation minière dans un corridor biologique



Les 30 millions d'hectares du corridor biologique de Vilcabamba-Amoro s'étendent sur les territoires bolivien et péruvien. En 2002, une évaluation exhaustive des concessions minières situées dans la zone protégée a révélé des répercussions importantes de leur activité sur l'ensemble du corridor : Parmi celles-ci figurent la pollution de l'eau des rivières, les émissions de gaz, de particules et de bruit, la perte de biodiversité résultant de la fragmentation de l'habitat, et la dégradation du sol. En Bolivie, les concessions minières sont autorisées à opérer dans des zones protégées si elles démontrent, au travers d'une évaluation d'impact environnemental, que leurs activités n'interféreront pas avec les objectifs de protection des zones. En dépit de cette législation, l'analyse de l'évaluation exhaustive a révélé que 76 % des exploitations minières ne disposaient pas de licence environnementale, tandis que 24 % disposaient d'une licence ou avaient entamé les démarches nécessaires pour son obtention. Toutefois, licence ou pas, la majorité des exploitations minières n'appliquaient aucune mesure préventive ou d'atténuation pour minimiser les impacts sur l'environnement (Conservation International, 2002).

qu'un cheveu humain a un diamètre approximatif de 80 000 nanomètres (Hester et Harrison, 2007) (**Figure 3**). Le concept de nanotechnologie existe depuis au moins vingt ans, mais la première vague d'applications à grande échelle n'apparaît qu'aujourd'hui. Désormais, on trouve des nanoparticules dans les cosmétiques, les crèmes solaires et les revêtements de conteneurs destinés à éviter la prolifération de bactéries et de moisissures. Elles rendent les balles de tennis plus rebondissantes et les peintures plus résistantes aux griffes (Jones, 2008). En 2006, plus de 600 produits dont la fabrication utilise des nanotechnologies ont été commercialisés dans le monde, pour une valeur totale de 50 milliards de dollars US. Au moins 20 % de ceux-ci étaient des aliments ou des conditionnements alimentaires (Bergeson, 2008 ; Osborn, 2008). Les analystes du marché prévoient un marché mondial pour les nanotechnologies d'une valeur comprise entre 1 050 et 2 800 milliards de dollars US en 2015, et estiment à 10 millions le nombre d'emplois liés aux nanotechnologies qui seront créés d'ici à 2014 (Bergeson, 2008 ; Friends of the Earth, 2008).

### Affronter les risques

Les avantages potentiels des nanotechnologies sont immenses, tout comme leurs dangers. Les nanomatériaux sont développés pour leurs propriétés radicalement nouvelles qui permettent d'obtenir des résultats inouïs et, parfois, imprévus. S'il existe un vaste consensus pour considérer que les nanotechnologies

sont porteuses de grandes promesses en relation avec leurs applications dans les domaines des matériaux, de la médecine et de l'énergie, il subsiste également de profondes incertitudes quand à leurs implications en relation avec la biologie, l'environnement et la sécurité (Bergeson, 2008 ; Heller et Peterson, 2008).

Si les données toxicologiques disponibles sont limitées, à ce jour, aucune toxicité particulière ou distinctive des nanomatériaux n'a été identifiée (Stern et McNeil, 2008).

En raison de la diversité des propriétés et comportements des nanoparticules, il est difficile de dégager une évaluation générique de leurs effets potentiels sur la santé et l'environnement (Maynard, 2006). Toutefois, les propriétés qui confèrent aux nanoparticules un tel intérêt commercial, notamment leur petite taille, leur rapport surface/masse très élevé et leur haute réactivité chimique peuvent également impliquer une toxicité plus importante que celle du matériau parent (Oberdörster et alii, 2005). Il se peut également que les nanomatériaux soient davantage biodisponibles que des particules de plus grande taille, entraînant une pénétration plus importante dans des cellules, tissus et organes individuels. Les voies potentielles d'exposition aux nanoparticules sont l'inhalation, l'ingestion et l'absorption cutanée (Stern et McNeil, 2008). Des études portant sur des tissus humains et des cultures de cellules en laboratoire ont produit des résultats préoccupants : formation d'agrégats de protéines dans les noyaux des cellules susceptibles d'en inhiber la réplication et la

transcription, toxicité dans les fibroblastes qui facilitent la cicatrisation et endommagement de l'ADN (Chen et von Mikecz, 2005 ; Dechsakulthorn et alii, 2007 ; Karlsson et alii, 2008). Des expériences animales ont montré une absorption gastro-intestinale de nanoparticules entraînant des effets toxicologiques sur les reins, le foie et la rate (Chen et alii, 2006 ; Wang et alii, 2007).

Un domaine qui inquiète particulièrement les scientifiques est le cerveau, car les nanoparticules sont suffisamment petites pour franchir la barrière hémato-encéphalique (qui agit, en principe, comme filtre pour bloquer les toxines) et s'accumuler dans le cerveau (Jones, 2008). La mauvaise compréhension du comportement biologique des nanomatériaux rendant difficile la prévision des risques de toxicité qui y sont associés, d'aucuns recommandent que chaque nouveau nanomatériau soit soumis à des évaluations appropriées en relation avec la santé et la sécurité avant tout usage commercial (Friends of the Earth, 2008).

Les risques écologiques associés aux nanomatériaux restent aussi mal connus que leur toxicologie humaine. Le dioxyde de titane (utilisé sous forme nanométrique dans des revêtements de surface, des crèmes solaires et

des cosmétiques) a occasionné des pathologies organiques et des détresses respiratoires chez la truite arc-en-ciel (Federici et alii, 2007). Si des études indiquent que l'absorption cellulaire du dioxyde de titane est très limitée au travers d'une peau saine, des études en laboratoire ont démontré que, lorsque les particules sont libérées dans un environnement aquatique, elles peuvent nuire à des espèces témoins telles que des algues et des puces d'eau (Schulz et alii, 2002 ; Hund-Rinke et Simon, 2006). Une autre étude préliminaire a permis de découvrir que le zinc à échelle nanométrique est plus toxique pour les algues vertes et les puces d'eau que les particules qui y sont naturellement présentes, et que des effets négatifs peuvent s'accroître au fil du temps (Luo, 2007).

### Gestion de la nanotechnologie

Si la nanotechnologie se développe rapidement et si son utilisation dans la vie et les produits de tous les jours augmente, les évaluations relatives à l'environnement, à la santé et à la sécurité (EHS) n'ont pas suivi le rythme (**Encadré 5**). Les difficultés abondent concernant le développement d'un modèle de risque ne serait-ce que pour un seul type de nanoparticule dans différentes situations, et, a fortiori, pour cette nouvelle classe de matériaux dans son ensemble. L'étude de l'impact des nanomatériaux sur l'environnement, la santé et la sécurité nécessitera un financement substantiel actuellement indisponible. Une analyse de 2006 a indiqué que la National Nanotechnology Initiative des Etats-Unis a alloué quelque 13 millions de dollars US à des recherches EHS d'une importance critique, soit seulement 1,0 % de l'investissement fédéral total dans la recherche-développement en relation avec la nanotechnologie (Rejeski, 2008). Sur la base d'expériences passées avec des substances telles que le DDT et la peinture au plomb, des dépenses plus importantes consacrées actuellement à des études de risque EHS permettraient de prévenir des coûts de responsabilité et d'assainissement futurs. Plus important, la recherche sur les effets EHS permettrait de développer des stratégies proactives en relation avec la nanotechnologie pour en gérer les avantages et en éviter les nuisances (Heller et Peterson, 2008).

### DEFIS POUR LA RELANCE DE L'ENERGIE NUCLEAIRE

Depuis la moitié des années 1970, la France s'est fermement engagée dans une politique d'utilisation de l'énergie nucléaire. En 2004, elle possédait la deuxième plus grande capacité électro-nucléaire derrière les Etats-Unis (WEC, 2004). Plus de 75 % de l'électricité produite en France provient de 59 centrales nucléaires (WNA, 2008). L'exemple du développement de l'énergie nucléaire en France est souvent mis en avant pour montrer que ce type d'énergie peut-être utilisé de façon sûre et efficace. Les problèmes qui ont récemment



Du bois revêtu d'une surface en nanoparticule devient extrêmement hydrofuge ou "super-hydrophobe". Les surfaces traitées de cette manière deviennent autonettoyantes et requièrent peu de maintenance.

Source : BASF Aktiengesellschaft

### Encadré 5 : Produits et conditionnements de produits alimentaires utilisant la nanotechnologie

La nanotechnologie aura probablement des conséquences importantes sur l'industrie agro-alimentaire aux niveaux de la culture, de la production, du traitement, du conditionnement, du transport et de la consommation des aliments. Des nanoparticules sont déjà ajoutées à certains aliments pour améliorer leur aptitude à l'écoulement, leur couleur, leur stabilité en cours de traitement ou leur durée de conservation. Des nanoparticules agissent comme agents antiagglutinants dans des aliments transformés sous forme granulaire ou poudreuse ainsi que comme blanchisseurs et brillanters dans des confiseries, des fromages et des sauces. En l'absence actuelle de normes d'étiquetage pour l'identification des nanomatériaux dans les aliments, il est cependant impossible de savoir si un produit donné contient ou non des nano-ingrédients.

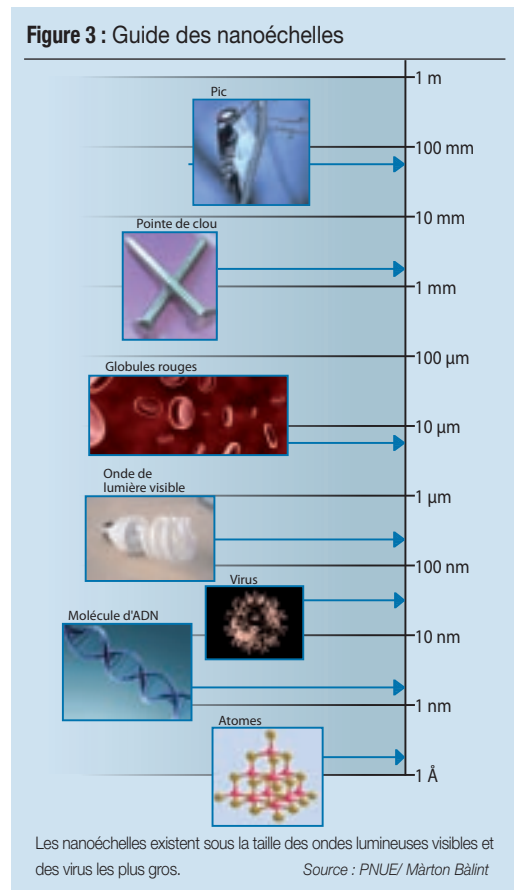
Le Comité scientifique des risques sanitaires émergents et nouveaux de l'Union européenne a reconnu, dans son rapport de 2005, les nombreuses lacunes systémiques des cadres réglementaires existants pour la gestion des risques associés à la nanotoxicité. Pourtant, de récents examens des mesures réglementaires en vigueur au Royaume-Uni, aux Etats-Unis, en Australie et au Japon ont révélé qu'aucun de ces pays n'exige des fabricants qu'ils procèdent à des évaluations concernant la sécurité des produits et conditionnements de produits alimentaires utilisant les nanotechnologies avant leur commercialisation.

Sources : Friends of the Earth, 2008a ; SCENIHR, 2005 ; Bowman et Hodge, 2007

touché le secteur ont toutefois remis en question l'intérêt d'une relance de l'énergie nucléaire à l'échelle mondiale.

### Problèmes de sécurité à une période critique

La dernière série d'incidents inquiétants a commencé le 7 juillet 2008 par une fuite d'uranium dans une usine de gestion des déchets à proximité de Tricastin, dans le sud-est de la France, à 40 kilomètres au nord d'Avignon. Les premiers rapports de Socatri, filiale du groupe



nucléaire Areva contrôlé par l'Etat, estimaient que 30 000 litres d'une solution contenant 12 grammes par litre d'uranium non enrichi s'étaient déversés suite au débordement d'un réservoir de stockage (BBC, 2008). Plus tard, Socrati a revu son estimation à 6 000 litres. Le déversement restait toutefois cent fois supérieur à la quantité annuelle admissible d'effluents radioactifs pour le site (Kay, 2008). Le liquide s'est infiltré dans le sol avant de s'écouler dans la Gaffiere et le Lauzon, deux affluents du Rhône situés à proximité (Ward, 2008). Même si l'Agence de sécurité nucléaire a estimé que les concentrations en uranium dans une des rivières contaminées étaient environ mille fois supérieures aux valeurs recommandées par l'Organisation mondiale de la santé, les spécialistes ont affirmé que le risque pour la population était faible (Ward, 2008 ; Kay, 2008). Les autorités locales ont néanmoins mis en place un plan d'urgence dans les trois villages avoisinant la centrale. La consommation d'eau potable des puits privés, la baignade dans les rivières et l'irrigation des champs ont été frappées d'interdiction. Les mesures d'interdiction visaient également la consommation des poissons pêchés dans les rivières polluées.

Le 18 juillet, Areva a détecté une fuite d'uranium enrichi dans un site de traitement de combustible nucléaire situé à Romans-sur-Isère, à 100 kilomètres au nord de Tricastin (Mabe, 2008). La fuite provenait d'une canalisation enterrée transportant de l'uranium liquide du site de fabrication du combustible nucléaire vers la station de traitement. Découverte lors d'une opération de maintenance, elle pourrait avoir été active pendant plusieurs années.

Le même jour, l'entreprise de service public Electricité de France (EDF) indiquait que 15 employés avaient été exposés à de faibles niveaux de radiation dans une centrale nucléaire de la vallée du Rhône, au sud de Lyon (Mabe, 2008). Deux semaines plus tard, 100 employés d'une centrale nucléaire d'EDF à Tricastin étaient exposés à une radiation de faible niveau. Les détecteurs d'exposition ont signalé une hausse du niveau de radiation pendant la maintenance d'un réacteur fermé temporairement suite à une fuite survenue quelques jours plus tôt (BBC, 2008). L'incident a été classé au niveau zéro sur l'échelle à sept niveaux utilisée pour évaluer la gravité des accidents nucléaires. EDF a déclaré qu'aucun de ses employés n'avait été exposé à un risque sérieux

pour la santé (Mabe, 2008).

Ce n'était pas la première fois que des fuites radioactives créaient un risque pour les populations en France. En mai 2006, des fuites dans la décharge du Centre de stockage de l'Aube, dans l'est de la France, ont entraîné de faibles niveaux de contamination radioactive des eaux souterraines, à moins de 10 kilomètres des célèbres vignobles de Champagne. Cette décharge, qui contient des déchets essentiellement d'EDF et d'Areva, présentait des fissures dans les cellules de stockage. Le même mois de 2006, une autre décharge exploitée par l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs, en Normandie, rencontrait des problèmes de fuite. Les niveaux de radioactivité des eaux souterraines utilisées par les fermiers furent estimés jusqu'à quatre-vingt-dix fois supérieurs aux limites de sécurité européennes (Greenpeace, 2006).

### Loin de la fermeture

L'énergie nucléaire a récemment été proclamée championne potentielle de la lutte contre le changement climatique et de nouveaux projets nucléaires fleurissent dans le monde entier. Toutefois, les problèmes de sécurité liés à la production nucléaire et à la gestion des déchets radioactifs, ainsi qu'aux risques liés au terrorisme et aux accidents, constituent un désavantage important. Le risque est étroitement lié à des questions de confiance, de compétence et de responsabilité (Bickerstaff et alii, 2008). Les récentes fuites survenues en France, loin de montrer que les questions de sécurité sont devenues moins problématiques dans le secteur nucléaire en raison de l'expérience acquise au fil du temps, ébranlent la confiance du public dans l'industrie de l'énergie nucléaire. Par exemple, le Haut comité pour la transparence et l'information sur la sécurité nucléaire a conclu que la gestion de l'incident de Tricastin avait révélé "une chaîne de dysfonctionnements et de négligences humaines" de la part de Socrati (Laurent, 2008). De tels incidents suggèrent également la nécessité d'examiner les conditions de travail dans les centrales électriques en relation avec la sécurité et la responsabilité. La confiance du public a été ébranlée par la découverte de défauts dans le processus de construction de nouvelles installations. Au mois de mars 2008, l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) française a épinglé des imperfections durant une inspection du nouveau réacteur pressurisé européen de troisième génération en cours de construction à Flamanville, dans la Manche. L'agence a découvert plusieurs défauts de construction chroniques et ordonné l'arrêt du chantier (AFP, 2008). L'avenir du secteur nucléaire semble désormais dépendre de l'équilibre entre les craintes des populations en rapport avec le risque de contamination nucléaire et le besoin croissant d'énergies neutres en carbone. Le point où cet équilibre s'établira est encore inconnu.



Complexe de production d'énergie nucléaire du Tricastin dans le sud-est de la France

Source : Stefan Küh



## Encadré 6 : Produits chimiques agricoles

Les engrais synthétiques sont relativement bon marché, simples à utiliser et aisément absorbables par les plantes. Ils ont permis d'augmenter considérablement les récoltes globales au cours des cinquante dernières années. De même, les pesticides synthétiques sont relativement peu onéreux et se sont révélés être, au moins initialement, des moyens efficaces pour éliminer les insectes nuisibles, les maladies des plantes et les mauvaises herbes. Bien sûr, les pesticides fonctionnent parce qu'ils sont toxiques. Il n'y a donc pas lieu de s'étonner que la fabrication de ces produits agrochimiques et leur utilisation, en particulier en excès avec des engrais, puissent être préjudiciables pour l'écosystème et la santé humaine. Toutefois, les conséquences de leur utilisation sur les écosystèmes et les humains sont souvent ignorées «parce» qu'elles ne sont pas directement ou immédiatement perceptibles pour les utilisateurs finaux.

L'influx massif d'azote dans de nombreux écosystèmes aquatiques, résultant dans une large mesure de l'usage intensif d'engrais synthétiques (et des déchets corollaires) au cours des dernières décennies, a soulevé un défi de plus en plus admis pour les agriculteurs, les scientifiques, les gouvernements et les investisseurs. En dépit des augmentations observées des rendements agronomiques à court terme résultant d'un usage lourd de produits chimiques, nous échouons systématiquement à rendre compte des dommages à long terme qui en résultent pour les terres agricoles, les eaux, les écosystèmes globaux et la santé humaine. Nous ne tenons pas davantage compte des intrants énergétiques massifs et de l'empreinte carbone liés aux produits agrochimiques.

L'usage des engrais synthétiques totalise actuellement environ 210 millions de tonnes par an, créant de graves distorsions dans le cycle d'azote naturel de la planète. Sur les terres, la saturation prolongée d'azote a perturbé la chimie des sols et entraîné un appauvrissement d'autres nutriments critiques dont le calcium, le magnésium et le potassium. Ironiquement, l'ajout déséquilibré d'un nutriment par rapport à d'autres peut entraîner un déclin général de la fertilité du sol et, partant, une baisse de productivité tant des terres cultivées que des espaces naturels.

Dans les écosystèmes aquatiques, la surcharge d'azote stimule une croissance excessive d'algues. Lorsque ces plantes meurent, elles consomment l'oxygène disponible dissous dans l'eau, avec pour effet essentiel de suffoquer d'autres organismes et de créer des zones étendues caractérisées par de faibles concentrations en oxygène et une raréfaction de toute vie marine. La plus grande zone morte est la mer Baltique, suivie d'une section septentrionale du golfe du Mexique, au large du delta du Mississippi, et de quelques 150 zones mortes majeures identifiées dans les océans du monde. Les effets des proportions accrues de CO<sub>2</sub> dans les océans qui absorbent les concentrations excessives de l'atmosphère peuvent aggraver cette menace croissante de zones océaniques mortes.

De nombreux pays continuent à augmenter les subventions à leurs industries d'engrais synthétiques à base d'azote en dépit de l'absence de justification évidente. En Inde, deuxième économie mondiale après la Chine sur le plan de vitesse de croissance, les dépenses en subventions gouvernementales pour le secteur des engrais ont atteint 23 milliards de dollars US en 2008, soit plus de 3 % du PIB du pays. Alors que la consommation indienne d'engrais azotés augmente à un rythme exponentiel, la dépendance du pays par rapport aux carburants fossiles importés, indispensables à la production d'engrais synthétiques, augmente dans une mesure similaire. Par conséquent, les besoins en produits pétroliers et en énergie de l'Inde sont devenus un autre secteur indûment «subventionné».

Les produits pétroliers sont la matière première de nombreux pesticides synthétiques, ainsi que le carburant nécessaire à leur fabrication. Au cours des cinq dernières décennies, les applications préventives de pesticides ont généré une résistance des espèces nuisibles visées, et leur usage excessif a accéléré la progression de la pollution de sources «diffuses.» Quelque 3 millions de personnes au monde souffrent d'un empoisonnement grave aux pesticides, pouvant entraîner cancers, anomalies congénitales et pathologies du système nerveux. L'exposition à ces contaminants est directement imputable au ruissellement de pesticides dans les sources d'eau potable et aux résidus chimiques présents dans les aliments.

Freiner la dépendance mondiale aux engrais et pesticides synthétiques sera un formidable défi à maints égards. Dans une perspective écologique, les options de gestion doivent envisager des transitions vers une approche écoagricole et des protocoles plus rigoureux pour une utilisation efficace des produits agrochimiques (voir Gestion des écosystèmes, chapitre 1). Ces défis sont accrus par des défaillances institutionnelles et de gouvernance, qui masquent le coût élevé de ces produits pour la santé humaine et l'écosystème. Pour être efficaces, les solutions nécessiteront des réglementations strictes et avisées sur les investissements contreproductifs, ainsi que des mesures rapides pour démanteler les politiques de subvention perverses, en particulier concernant les économies des pays en voie de développement à forte croissance.

Sources : Astill, 2008 ; Kapoora et alii, 2008 ; Lie, 2007 ; Science News, 2008 ; OMS, 2007 ; Wu et alii, 1999 ; WWF, 2008



Source : Associated Press/ Rajesh Nirgude

## CONCLUSION

La croissance rapide de l'industrialisation, la globalisation extensive des chaînes d'approvisionnement alimentaire et les processus d'extraction envahissants se conjuguent pour introduire des substances nuisibles nombreuses et variées dans l'environnement (**Encadré 6**). Ce sont les événements graves (déversements d'hydrocarbures et de produits chimiques, épisodes de contamination des denrées alimentaires et rappel de jouets toxiques) qui attirent le plus notre attention. Pourtant, les effets cumulatifs d'une contamination de bas niveau par infiltration et de la lente accumulation de nombreux poisons et composés biologiquement actifs pourraient finalement avoir un impact négatif bien plus profond sur la santé humaine et celle de l'écosystème, en particulier en termes de résistance à des menaces supplémentaires. Il est assurément important de contrôler et les épisodes graves de contamination nuisible et d'y réagir. Il est également crucial d'anticiper, de réguler et de contrôler

le lent empoisonnement. La prévention de celui-ci ainsi que d'épisodes aigus est possible par des moyens nationaux : réduction au minimum de la production de substances dangereuses, contrôle de leur distribution et de leur rejet ultime, et remplacement par des substances et pratiques plus bénignes (voir Rendement des ressources, chapitre 5).

## RÉFÉRENCES

- AFP (2008). *Arev's Flamanville nuclear reactor supply chain needs oversight*. Agence France-Presse. <http://www.climatestudies.org/country/france/flamanville/arevas-flamanville-nuclear-reactor-supply-chain-needs-oversight#more-1714> [Accessed October 2008]
- Allchin, D. (1999). *The poisoning of Minamata*. <http://www1.umn.edu/ships/ethics/minamata.html> [Accessed November 2008]
- Astill, J. (2008). Storm-clouds gathering: What the world recession will do to India's economy. *The Economist*, December 11, 2008
- ATSDR (2008). *ToxFAQs for Mercury*. Agency for Toxic Substances and Disease Registry 2999 <http://www.atsdr.cdc.gov/tfacts46.html> [Accessed November 2008]
- Bastos, W., Gomes, J.P., Oliveira, R., Almeida, R., Nascimento, E.L., Bernardi, J.V., De Lacerda, L. Da Silveira, E.G. and Pfeiffer, W.C. (2006). Mercury in the environment and river-side population in the Madeira River Basin, Amazon, Brazil. *Science of the Total Environment*, (368), 344-351
- BBC (2008). *Warning over French Uranium Leak*. BBC News. <http://news.bbc.co.uk/1/hi/world/europe/7496998.stm> [Accessed 12 October 2008]
- BBC (2008b). *Concern over French Nuclear Leaks*. BBC News. <http://news.bbc.co.uk/1/hi/world/europe/7522712.stm> [Accessed 12 October 2008]
- Bergeson, L. (2008). Nanotechnology, Boom or Bust. *Pollution Engineering*, 39(2007), 14
- Bi, X.H., Thomas, G.O., Jones, K.C., Qu, W.Y., Sheng, G.Y., Martin, F.L. and Fu, J.M. (2007). Exposure of electronics dismantling workers to polybrominated diphenyl ethers, polychlorinated biphenyls, and organochlorine pesticides in South China. *Environmental Science Technology*, (41), 5647-5653
- Bickerstaff, K., Lorenzoni, I., Pidgeon, N.F., Poortinga, W. and Simmons, P. (2008). Reframings nuclear power in the UK energy debate: nuclear power, climate change mitigation and radioactive waste. *Public Understanding of Science*, (17), 145-169
- Bowman, D. and Hodge, G. (2007). A Small Matter of Regulation: An International Review of Nanotechnology Regulation. *Columbia Science Technology Law Rev.* (8), 1-32
- Canadian Cancer Society (2008). Phthalates. [http://www.cancer.ca/Canada-wide/Prevention/Specific%20environmental%20contaminants/Phthalates.aspx?sc\\_lang=en](http://www.cancer.ca/Canada-wide/Prevention/Specific%20environmental%20contaminants/Phthalates.aspx?sc_lang=en)
- Chen, M. and von Mikecz, A. (2005). Xenobiotic-induced recruitment of autoantigens to nuclear proteasomes suggests a role for altered antigen processing in scleroderma. *Annals of New York Academy of Science*, 1051 (1), 382-389
- Conservation International (2002). *Minería en el Corredor de Conservación Vilcabamba-Amboró (C/CVA)* [Mining in the Conservation Corridor Vilcabamba-Amboró]. Conservation International. La Paz
- Comba, P., Bianchi, F., Fazzo, L., Martina, L., Menegozzo, M., Minichilli, F., Mitis, F., Musmeci, L., Pizzuti, R., Santoro, M., Trinca, S., and Martuzzi, M. (2006). "Health Impact of Waste Management Campania" Working Group 2006 Cancer Mortality in an Area of Campania (Italy) Characterized by Multiple Toxic Dumping Sites" *Annals of the New York Academy of Sciences*, (1076), 449-461
- Da Costa, G.M., Dos Anjos, L.M., Souza, G.S., Gomes, B.D., Saito, C.A., Pinheiro, M.N., Ventura, D.F., Da Silva, M. and Silveira, L.C. (2008). Mercury toxicity in Amazon gold miners: Visual dysfunction assessed by retinal and cortical electrophysiology. *Environmental Research*, (107), 98-107
- Daily Express (2008). Sausage recall after cyanide scare <http://www.express.co.uk/posts/view/68017/Sausage-recall-after-cyanide-scare> [Accessed November 2008]
- Demetriou, D. (2008). Japanese ham, sausages and other meats follow noodles off the shelves in contamination scare. *The Telegraph* <http://www.telegraph.co.uk/news/>
- Dewan, S. (2008). At plant in coal ash spill, toxic deposits by the ton. *New York Times*, 29 December 2008 [http://www.nytimes.com/2008/12/30/us/30sludge.html?\\_r=1&ref=us](http://www.nytimes.com/2008/12/30/us/30sludge.html?_r=1&ref=us)
- Earthworks (2006). *Yanacocha Gold Mine in Cajamarca, Peru* <http://www.earthworksaction.org/cajamarca.cfm> [Accessed October 2008]
- EC (2008). *Community Strategy for Endocrine Disruptors*. European Commission [http://ec.europa.eu/environment/endocrine/documents/sec\\_2007\\_1635\\_en.htm](http://ec.europa.eu/environment/endocrine/documents/sec_2007_1635_en.htm)
- EPA (2007). Notice of data availability on the disposal of coal combustion wastes in landfills and surface impoundments. US Environmental Protection Agency. <http://www.epa.gov/fedrgstr/EPA-WASTE/2007/August/Day-29/f17138.htm>
- EPA (2008). EPA's response to the TVA Kingston Fossil Plant fly ash release. US Environmental Protection Agency, 28 Dec 2008 <http://www.epa.gov/region4/kingston/index.html> [Accessed 29 Dec 2008]
- Erismán, J.W., Sutton, M.A., Galloway, J., Klimont, Z. and Winuiwarter, W. (2008). How a century of ammonia synthesis changed the world. *Nature GeoScience* (1) 636-639
- Farella, N., Davidson, R., Lucotte, M. and Daigle, S. (2007). Nutrient and Mercury Variations in Soils from Family Farms of the Tapajós Region (Brazilian Amazon): Recommendations for Better Farming. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, (120), 449-462
- Federici, G., Shaw, B. and Handy, R. (2007). Toxicity of titanium dioxide nanoparticles to rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*): Gill injury, oxidative stress, and other physiological effects. *Aquatic Toxicology*, 84(4),415-430
- Friends of the Earth (2008). *Out of the Laboratory and onto our Plates. Nanotechnology in Food and Agriculture*. Revised version. FoE Australia, FoE Europe, and FoE United States
- Greenpeace (2006). *French Nuclear Flagship Holed Below the Water Line*. <http://www.greenpeace.org/international/news/french-nuclear-flagship270508>
- Health Canada (2007). *Canadian standards for various chemical contaminants in food*. <http://www.hc-sc.gc.ca/fn-an/standards/chem-chim/contaminants-guidelines-directives-eng.php>
- Hester, R.E. and Harrison, R.M. (2007). *Nanotechnology: Consequences for human health and the environment*. Issues in Environmental Science and Technology Royal Society of Chemistry. Cambridge, UK. (24)
- Hund-Rinke, K. and Simon, M. (2006). Ecotoxic effect of photocatalytic active nanoparticles (TiO<sub>2</sub>) on algae and daphnids. *Environ Science and Pollution Research*, 13(4), 225-232
- Huo, X., Peng, L., Xu, X.J., Zheng, L.K., Qiu, B., Qi, Z.L., Zhang, B., Han, D. and Piao, Z.X. (2007). Elevated blood lead levels of children in Guiyu, an electronic waste recycling town in China. *Environ. Health Perspectives*, (15), 1113-1117
- ICIS (2008). ICIS Chemical Business. *US phthalates ban in children's toys looms* <http://www.icis.com/Articles/2008/10/06/9160591/us-phthalates-ban-in-childrens-toys-loom.html> [Accessed November 2008]
- INAC (2008). *English-Wabigoon River Mercury Compensation*. India and Northern Canada Affairs. [http://www.ainc-inac.gc.ca/on/ewr\\_e.html](http://www.ainc-inac.gc.ca/on/ewr_e.html) [Accessed 12 November 2008]
- Jones, M. (2008). Tiny Particles, Major Concerns: Lloyd's Examines Nanotech. *Best's Review*, 108(2008), 9
- Kapoor, V., Singh, U., Patil, S.K., Magrea, H., Shrivastava, L.K., Mishra, V.N., Dasa, R.O., Samadhiyaa, V.K., Sanabrib, J. and Diamond, R. (2008). Rice Growth, Grain Yield, and Floodwater Nutrient Dynamics as Affected by Nutrient Placement Method and Rate. *Agronomy Journal* 100: 526-536
- Karlsson, H., Cronholm, P., Gustafsson, J. and Moeller, L. (2008). Copper Oxide nanoparticles are Highly Toxic: A Comparison Between Metal Oxide Nanoparticles and Carbon Nanotubes. *Chemistry Res. Toxicology*, 21(9), 1726-1732
- Kay, M. (2008). *Contamination fears after leak from French nuclear waste plant*. The Independent. <http://www.independent.co.uk/> [Accessed October 2008]
- Kehrig, H. do A., Howard, B.M. and Malm, O. (2008). Methylmercury in a Predatory Fish (Cichla spp.) Inhabiting the Brazilian Amazon. *Environmental Pollution*, 154(2008),68-76
- Khalequzzaman, M., Faruque, F.S. and Mitra, A.K. (2005). Assessment of Arsenic Contamination of Groundwater and Health Problems in Bangladesh. *International Journal for Environmental Research and Public Health*, 2(2), 204-213
- Kinghorn, A., Solomon, P. and Chan, H.M. (2007). Temporal and spatial trends of mercury in fish collected in the English-Wabigoon river system in Ontario, Canada. *Science of the Total Environment*, 372(2-3): 615-623
- Lacerda, L.D. (2003). Updating global mercury emissions from small-scale gold mining and assessing its environmental impacts. *Environment Geology*, 43(2003),308-314
- Laurent, O. (2008). *French nuclear industry has repeated accidents*. <http://www.wsws.org/articles/2008/aug2008/nuc-a01.shtml> [Accessed October 2008]
- Leung, A.O.W., Duzgoren-Aydin, N.S., Cheung, K.C. and Wong, M.H. (2008). Heavy Metals Concentrations of Surface Dust from e-Waste Recycling and its Human Health Implications in Southeast China. *Environmental Science and Technology*, (42),2674-2680
- Lie, E. (2007). Market Power and Market Failure: The Decline of the European Fertilizer Industry and the Expansion of Norsk Hydro. *Enterprise and Society* 9(1): 70-95 doi:10.1093/es/khm084
- Luo, J. (2007). Toxicity and bioaccumulation of nanomaterial in aquatic species. *Journal of the U.S. S/W/P*, 1-16
- Mabe, M. (2008). *Will French Leaks Harm Nuclear's Revival?* Businessweek [http://www.businessweek.com/globalbiz/content/jul2008/gb20080728\\_585698.htm?chan=globalbiz\\_europe+index+page\\_top+stories](http://www.businessweek.com/globalbiz/content/jul2008/gb20080728_585698.htm?chan=globalbiz_europe+index+page_top+stories) [Accessed 12 October 2008]
- Magnowski, D. (2008). *African states ban Chinese milk in health alert* <http://www.reuters.com/> [Accessed November 2008]
- Marques, R. C., Garrofe, J., Rodrigues, W., De Freitas Rebelo, M., De Freitas Fonseca, M. and Marshall, E. (2005). Nuclear Power: Is the Friendly Atom Poised for a Comeback? *Science* (309), 1168-9
- Maynard, A. (2006). Nanotechnology: Assessing the risks. *Nanotoday*, 1(2), 22-33
- Mudder, T.I. and Botz, M. (2000). *A global perspective of cyanide*. A background paper of the UNEP/ICME
- NPRI (2006). National Pollution Release Inventory. *Environment Canada*. [http://www.ec.gc.ca/pdb/npri/2006Summary/p3\\_2\\_e.cfm](http://www.ec.gc.ca/pdb/npri/2006Summary/p3_2_e.cfm)
- NRC (2006). Managing Coal Combustion Residues in Mines. US National Research Council, Washington, DC, 2006
- Oberdörster, G., Maynard, A., Donaldson, K., Castranova, V., Fitzpatrick, J., Ausman, K., Carter, J., Karn, B., Kreyling, W., Lai, D., Olin, S., Monteiro-Riviere, N., Warheit, D. and Yang, H. (2005). Principles for characterizing the potential human health effects from exposure to nanomaterials: elements of a screening strategy. *Particle Fibre Toxicology*, (2), 8 Osborn, K. (2008). Professor spreads facts about nanotechnology. The Brown and White. <http://www.thebrownandwhite.com>
- Pfeiffer, W.C. and Lacerda, L.D. (1988). Mercury inputs into the Amazon Region, Brazil. *Environmental Technology*, (9), 325-330
- Pinheiro, M.C.N. Crespo-Lopez, M.E., Vieira, J.L.F., Okawa, T., Guimaraes, G.A., Araujo, C.C., Amoras, W.W., Ribeiro, D.R., Herculano, A.M., Do Nascimento, J.L.M. and Silveira, L.C.L. (2007). Mercury Pollution and Childhood in Amazon Riverside Villages. *Environment International*, (33),56-61
- Rejeski, D. (2008). *Gearing Up for the Reauthorization of the Nanotechnology R&D Act, Nanotechnology Now*. Project on Emerging nanotechnologies. <http://www.nanotech-now.com/columns/?article=195> [Accessed 13 October 2008]
- Reuters (2008). *Italy must do more to stop dioxin in mozzarella-EU*. <http://uk.reuters.com/> [Accessed November 2008]
- Royle, E. (2006). E-Waste at Large. *The New York Times*, January 27, 2006
- Sato, S., Shirakawa, H., Tomita, S., Ohsaki, Y., Haketa, K., Tooti, O., Santo, N., Tohkin, M., Furukawa, Y., Gonzalez, F. and Komai, M. (2008). Low-dose dioxins alter gene expression related to cholesterol biosynthesis, lipogenesis, and glucose metabolism through the aryl hydrocarbon receptor-mediated pathway in mouse liver. *Toxicology and Applied Pharmacology*, (229), 10-19
- Schertow, J. (2008). *Mad as a hatter. Canada's mercury pollution on indigenous land*. The Dominion. <http://www.dominionpaper.ca/articles/1981> [Accessed November 2008]
- Schettler, T. (2005). *Phthalate Esters and Endocrine Disruption* [http://www.sehn.org/Endocrine\\_Disruption.html](http://www.sehn.org/Endocrine_Disruption.html) [Accessed November 2008]
- Science News (2008). Keeping yields, profits and water quality high. <http://esciencenews.com/articles/2008/05/08/keeping.yields.profits.and.water.quality.high>
- SCENIHR (2005). *Opinion on the appropriateness of existing methodologies to assess the potential risks associated with engineered and adventitious products of nanotechnologies*. Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks. Directorate General for Health and Consumer Affairs, European Commission. Brussels
- Sing, K.A., Hryhorczuk, D., Saffirio, G., Sinks, T. Paschal, D.C., Sorensen, J. and Chen, E.H. (2003). Organic Mercury Levels Among the Yanomama of the Brazilian Amazon Basin. *Ambio*, (32),434-439
- Smil, V. (2001) *Enriching the earth: Fritz Haber, Carl Bosch and the Transformation of World Food Production*. MIT Press, Cambridge Massachusetts
- Stern, S.T. and McNeil, S.E. (2008). Nanotechnology Safety Concerns Revisited. *Toxicological Sciences*, (101), 4-21
- Sturgis, S. (2008). Empty promise: The broken federal commitment behind the Tennessee coal ash disaster. Facing South. Institute for Southern Studies. <http://www.southernstudies.org/2008/12/empty-promise-the-broken-federal-commitment-behind-tenne.html>
- TVA 2008. Kingston update page. Tennessee Valley Authority [http://www.tva.gov/emergency/ashslide\\_kingston.htm](http://www.tva.gov/emergency/ashslide_kingston.htm) [Accessed 29 December 2008]
- Van Geen, A. (2008). Arsenic meets dense populations. *Nature Geoscience*, (1),494-496 [Accessed October 2008]
- Wang, J., Zhou, G., Chen, C., Yu, H., Wang, T., Ma, Y., Jia, G., Gai, Y., Li, B., Sun, J., Li, Y., Jiao, F., Zhano, Y. and Chai, Z. (2007). Acute toxicity and biodistribution of different sized titanium dioxide particles in mice after oral administration. *Toxicol Letter*, 168(2), 176-185
- Ward, J. (2008). *Critics Worry as Authorities Ban Water Use*. <http://www.spiegel.de/international/europe/0,1518,564826,00.html>
- Wheatley, B. and Paradis, S. (2005). Exposure of Canadian aboriginal peoples to methylmercury. *Water, Air and Soil Pollution*, (80),3-11
- Willey, D. (2008). *Toxin scare hits mozzarella sales*. BBC News <http://news.bbc.co.uk/1/hi/world/europe/7308162.stm> [Accessed November 2008]
- WHO/DEPA (2004). *Phthalates in Toys and Child-care articles*. Danish Environmental Protection Agency (DEPA). World Health Organization, Denmark
- WHO (2001a). *Arsenic in drinking water*. World Health Organization <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs210/en/index.html>
- WHO (2001b). *Arsenicosis*. World Health Organization [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/diseases/arsenicosis/en/](http://www.who.int/water_sanitation_health/diseases/arsenicosis/en/)
- WHO (2007a). *Dioxins and their effects on human health*. World Health Organization <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs225/en/print.html>
- WHO (2007b). *Cyanide in Drinking-water*. Background document for development of WHO Guidelines for drinking-Water Quality. World Health Organization. Geneva
- WHO (2008). *Melamine-contamination event, China, September-October 2008*. World Health Organization [http://www.who.int/foodsafety/fs\\_management/infosan\\_events/en/index.html](http://www.who.int/foodsafety/fs_management/infosan_events/en/index.html)
- WHO (2008a). *Questions and Answers on Melamine*. World Health Organization. <http://www.who.int/csr/media/faq/QAmelamine/en/print.html>
- Wolff, M.S. (2006). Endocrine Disruptors: Challenges for Environmental Research in the 21st Century. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1076, 228-238,
- WNA (2008). *Nuclear Power in France*. Country Briefings. World Nuclear Association <http://world-nuclear.org/info/inf40.html> [Accessed 1 October 2008]
- Wu, C., Maurer, C., Wang, Y., Xue, S. and Davis, D.L. (1999). Water Pollution and Human Health in China. *Environmental Health Perspectives*, 107(4): 251-256
- WWI (2008). *Vital Signs 2007-2008*. Worldwatch Institute, 176p Washington, DC <http://www.worldwatch.org/vs2007> [Accessed 15 December 2008]

# Changement climatique

En raison du changement climatique, de nombreux systèmes terrestres sont confrontés à des seuils critiques qui altèrent l'équilibre environnemental au niveau régional et mondial et menacent la stabilité à plusieurs niveaux. Cependant, fait alarmant, il est probable que nous ayons déjà franchi des points de basculement irréversibles pendant la période couverte par la civilisation actuelle.



Un front de tempête surplombe Bribie Island, dans le Queensland, en Australie.

Source : Barbara Burkhardt

## INTRODUCTION

Depuis longtemps, le changement climatique n'est plus une curiosité scientifique et a cessé de n'être qu'une des nombreuses préoccupations environnementales ou réglementaires. Il s'agit du problème environnemental majeur et fondamental de notre époque et du défi le plus important auquel doivent faire face les responsables politiques à de nombreux niveaux (Ban, 2008). C'est une crise croissante comportant une dimension économique, de santé et de sécurité, de production alimentaire, de sécurité, ainsi que d'autres aspects. Les modèles de variation du climat représentent une menace pour la production alimentaire en raison d'une incertitude croissante quant aux précipitations, l'élévation du niveau des mers contamine les réserves d'eau douce des zones côtières et accroît le risque d'inondations catastrophiques, et le réchauffement de l'atmosphère contribue à la propagation vers le pôle d'animaux nuisibles et de

maladies autrefois limités à la région des tropiques.

A l'heure actuelle, les nouvelles sont mauvaises et de plus en plus pessimistes. La fonte des glaciers et des calottes glaciaires se poursuit, avec pour conséquence, pour la deuxième année consécutive, un passage sans glace entre les îles de l'archipel arctique canadien et une accélération de la fonte des calottes glaciaires au Groenland et en Antarctique. Combinée à la dilatation thermique (l'eau chaude occupe un plus grand volume que l'eau froide), la fonte des glaciers et des calottes glaciaires de l'équateur aux pôles contribue à la hausse du niveau des mers à un niveau qui pourrait largement dépasser les prévisions tirées de l'évaluation scientifique globale la plus récente (IPCC, 2007).

A en croire certaines preuves alarmantes, des points de basculement majeurs, entraînant des changements irréversibles dans les principaux écosystèmes et systèmes terrestres, ont déjà été atteints ou dépassés.

Des écosystèmes aussi divers que la forêt amazonienne et la toundra arctique sont peut-être sur le point de subir un changement radical à cause du réchauffement et de l'assèchement. Les glaciers de montagne reculent de manière alarmante et les conséquences en aval de la réduction de l'approvisionnement en eau pendant les mois les plus secs s'étendront sur plusieurs générations. Les rétroactions climatiques et les effets cumulatifs sur l'environnement se développent au cours des systèmes terrestres et adoptent des comportements impossibles à anticiper.

Les possibilités d'un réchauffement rapide dû à l'effet de serre sont réelles et n'ont jamais été aussi évidentes. Les changements climatiques les plus dangereux peuvent encore être évités si nous transformons nos systèmes d'énergies à base d'hydrocarbure en systèmes d'énergies renouvelables et si nous lançons des programmes d'adaptation rationnels et correctement financés afin

d'anticiper les désastres et les migrations à un niveau sans précédent. Les outils sont disponibles mais ils doivent être utilisés immédiatement et sans retenue.

## DETECTION, OBSERVATION, ATTRIBUTION

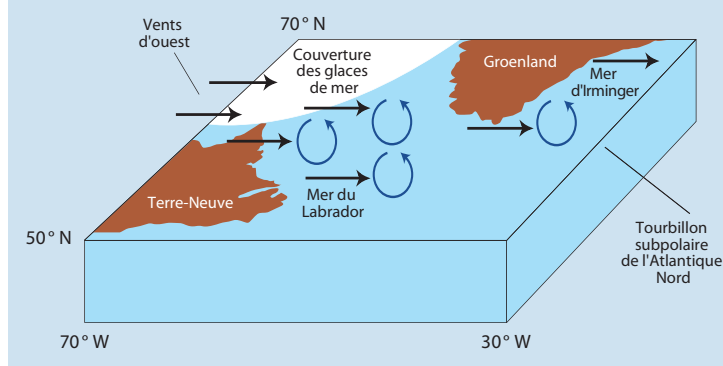
Le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat publie ses rapports d'évaluation globaux concernant l'évolution du climat tous les cinq ou six ans (IPCC, 2007). Mais il ne se passe pas une semaine sans que de nouvelles recherches apparaissant dans des rapports et documents analysés par des pairs viennent s'y ajouter. Par exemple, le GIEC a été incapable d'établir un lien formel entre l'activité humaine et les changements climatiques observés dans les régions polaires en raison de la variabilité naturelle de ces régions et du manque de couverture. En 2008, des chercheurs ont découvert que les changements de température en Arctique et en Antarctique ne correspondaient pas à la variabilité naturelle et étaient directement liés à l'activité humaine en utilisant des simulations et des ensembles de données maillées spécifiques à un endroit provenant de quatre modèles climatiques différents (Gillett et alii, 2008). Ils sont arrivés à la conclusion que les activités humaines avaient déjà provoqué un réchauffement significatif des deux régions polaires avec des conséquences probables pour les communautés indigènes, les systèmes biologiques, le bilan de masse de la calotte glaciaire et le niveau des mers dans le monde.

### Fonte des glaces de l'Arctique

En 2008, il est devenu de plus en plus évident que l'étendue aréale de la glace de mer de l'Arctique décline plus rapidement que prévu en raison d'une hausse de la température de l'air et des océans. Le Centre américain de données sur la neige et la glace (NSIDC) souligne que les glaces de mer ont atteint leur couverture minimale le 12 septembre cette année, couvrant alors plus de 4,52 millions de kilomètres carrés de l'océan Arctique (NSIDC, 2008). Il s'agit du deuxième chiffre le plus bas pour cette région où la glace résiste à la fonte estivale depuis les premiers enregistrements satellites en 1979. Alors que la couverture des glaces en 2008 a été de 10 % supérieure à celle en 2007, chiffre le plus bas jamais enregistré, elle était encore de 30 % inférieure à la moyenne des trois dernières décennies. Pris ensemble, les deux étés n'ont pas d'égal.

Pour la deuxième année consécutive, une voie sans glace a été constatée dans le passage du nord-ouest, entre les îles nord-canadiennes. Mais cette année a également vu l'ouverture de la Route du Nord, le long de la côte de l'Arctique sibérien. Ces deux passages n'ont probablement plus été ouverts simultanément depuis la période avant la dernière époque glaciaire, il y a environ 100 000 ans (NERSC, 2008). En théorie, en 2008, la

Figure 1 : Convection profonde dans l'océan subpolaire



Nous sommes à l'automne 2007-2008. Une vaste couverture de glace de mer isole les vents d'ouest violents et glaciaux de l'océan, plus chaud, jusqu'à ce qu'ils atteignent le bassin central de la mer du Labrador. Là-bas, ces vents inhabituellement froids refroidissent rapidement les eaux de surface, mélangeant la colonne d'eau à des profondeurs jamais atteintes ces 15 dernières années.

Source : Lozier 2009

calotte glaciaire Arctique aurait pu être contournée.

La reprise évidente d'une profonde convection océanique en tourbillons de l'Atlantique Nord subpolaire pourrait être une conséquence non anticipée de la fonte des glaces de mer. Il s'agit de l'endroit où l'eau de surface s'enfonce telle une masse distincte, forçant des modèles de circulation dans l'océan Atlantique (Figure 1). La profonde convection décrite dans la mer d'Irminger, à l'est de l'extrémité sud du Groenland, et dans la mer du Labrador, au sud-ouest, est due à une arrivée d'air froid en provenance du Canada responsable d'un transfert de chaleur de l'océan à l'atmosphère, avec pour conséquence la plongée d'un grand volume d'eau froide. Au cours des récents hivers, l'air froid provenant de l'ouest a été réchauffé par les températures plus élevées des courants océaniques se dirigeant vers le sud via le Déroit de Davis. Cependant, durant les hivers 2007 et 2008, l'eau de surface se dirigeant vers le sud était de la glace de mer fondue, plus froide et plus douce que d'habitude, et a donc gelé rapidement dans le Déroit de Davis. L'air froid provenant de l'ouest est resté frais jusqu'à ce qu'il atteigne les eaux relativement chaudes du Groenland, où l'échange d'énergie qui a suivi a provoqué une reprise de la convection (Vage et alii, 2008).

La tendance générale au recul des glaces de mer dans l'Arctique dure maintenant depuis au moins trente ans. La fonte est plus importante en été, mais est également évidente en hiver, sur les banquises vu l'épaisseur de la glace. La quantité de glace survivant à l'été étant moindre, la quantité de glace épaisse accumulée pendant plusieurs années diminue. Le système des glaces de mer tout entier est donc plus sensible aux réchauffements à venir tandis que la perspective d'une région arctique dénuée de glace est de plus en plus probable (Kay et alii, 2008 ; NSIDC, 2008).

Dans l'Arctique, l'atmosphère se réchauffe deux fois plus rapidement que dans la plupart des autres régions

du monde. Dans le Grand Nord, le réchauffement est amplifié par une diminution de la réflectivité de la surface de la terre à mesure que la glace et la neige fondent. Ces derniers réfléchissent l'énergie solaire vers l'espace tandis que les surfaces plus sombres, telles que la toundra nue et la haute mer, absorbent plus d'énergie solaire puis la libèrent sous forme de chaleur. Donc, au fur et à mesure que les surfaces réfléchissantes disparaissent, les surfaces sombres libèrent de la chaleur dans leur environnement immédiat, accélérant la fonte.

Toutefois, d'autres facteurs peuvent contribuer à l'accélération du réchauffement dans l'océan Arctique. En 2007, la fonte des glaces a été particulièrement importante dans la mer de Beaufort, au nord du Canada et de l'Alaska. Cette situation a été provoquée par des incursions d'eaux chaudes provenant du sud qui ont fait fondre la glace par en dessous (Perovich et alii, 2008). Mais, des conditions atmosphériques locales ont également amplifié ce phénomène. En 2007, le soleil, qui a brillé pendant 24 heures dans un ciel serein, a augmenté la fonte des glaces et les rafales de vent au début de l'été ont poussé la glace vers les banquises saisonnières, ouvrant ainsi de grandes zones de haute mer (Kay et alii, 2008). En 2008, les vents ont dispersé la glace, ce qui a formé une zone de glace plus large mais plus fine (NSIDC, 2008).

En 2008, le rôle de la variabilité naturelle plus systématique dans l'Arctique est également devenu plus évident. De nouvelles recherches ont montré que la variabilité normale de la région, dominée par l'Oscillation Arctique et l'Oscillation Nord Atlantique, présente une alternance de phases chaudes et froides (chaque phase persistant plusieurs années) (Keenlyside et alii, 2008 ; Semenov, 2008). Ces phases sont déclenchées par les modèles de courants océaniques changeants qui laissent passer plus ou moins d'eau chaude dans l'Arctique, ce qui altère les mouvements de l'air (Graversen et alii, 2008). Au cours des dernières années, la région était

dans une phase chaude, ce qui a accentué les effets du réchauffement climatique. Alors que les changements de phase dans l'Oscillation Arctique et l'Oscillation Nord Atlantique peuvent masquer les tendances de changement climatique progressives, certains scientifiques se demandent comment le changement climatique affecte ces oscillations et d'autres, telles que l'Oscillation australe El Niño (Goodkin et alii, 2008, Goelzer et alii, 2008).

### Fonte des glaces au Groenland et en Antarctique

Le plus grand volume de glace de l'Arctique recouvre le Groenland. A certains endroits, la calotte glaciaire a une épaisseur de 3 kilomètres. Si elle fond, le niveau de la mer devrait s'élever de 6 mètres. Jusqu'à récemment, les glaciologues pensaient que la glace «fondrait» doucement au cours des millénaires, au fur et à mesure que le réchauffement à la surface de la calotte glaciaire pénètre à l'intérieur de celle-ci et fasse fondre graduellement la glace. Cette pensée est exprimée dans le quatrième rapport d'évaluation du GIEC (IPCC, 2007).

Cependant, la masse de la calotte glaciaire diminue désormais plus rapidement que prévu si la fonte des glaces était le seul élément responsable. Le recul actuel est de plus de 100 kilomètres cube par an. De nouvelles découvertes en 2008 ont révélé que l'écoulement dans l'océan provenant du glacier Jakobshavn Isbrae sur la côte ouest du Groenland, l'une des voies les plus importantes pour les glaces fondues, a doublé depuis 1997 (Holland et alii, 2008).

Il semble que des processus physiques détruisent la totalité de certaines parties de la calotte glaciaire du Groenland. Les mécanismes exacts ne sont pas encore l'unanimité mais deux possibilités sont envisagées. La première postule que les eaux océaniques chaudes déstabilisent les embouchures des principaux glaciers tels que le Jakobshavn Isbrae, accélérant leur écoulement. La seconde provient de la découverte que l'eau de fonte formée à la surface s'écoule dans des crevasses et des moulins situés au fond de la calotte glaciaire. Cette eau de fonte facilite le contact, précédemment gelé, entre la glace et la roche de fond, accélérant aussi l'écoulement du glacier. En 2008, des scientifiques ont effectué des recherches sur l'un des mille lacs d'eau de fonte qui apparaissent désormais au Groenland chaque été (Joughin et alii, 2008 ; Das et alii, 2008). L'étendue d'eau de 4 kilomètres de large qui s'est formée en 2006 s'est complètement écoulée dans les profondeurs glaciales en 90 minutes, soit à un débit supérieur à celui des chutes du Niagara.

Mais l'importance de ce processus pour la fonte des glaces n'est toujours pas claire. L'importance et les effets du drainage des eaux sous-glaciaires et la manière dont ces influences varient en fonction de la taille et de la température de la masse de glace font débat depuis



Des scientifiques longent un grand canyon creusé dans la surface de la calotte glaciaire du Groenland par plus d'une décennie d'eaux de fonte.

Source : Sarah Das/ Institut océanographique Woods Hole

longtemps (Bell, 2008 ; O'Cofaigh et Stokes, 2008). Certains chercheurs affirmaient que les rivières sous-glaciaires formées par le drainage du moulin au Groenland étaient éphémères, que l'eau se dispersait rapidement et que la glace qui s'écoulait était bloquée contre la roche de fond. Selon cette théorie, de tels événements ne peuvent être responsables que de 15 % de la formation annuelle d'iceberg provenant du Groenland (Van der Waal et alii, 2008). Toutefois, seuls quelques sites attestent de ce fait. Et même si la quantité des eaux sous-glaciaires du Groenland s'avère moins volumineuse que prévu par certains, la question concernant la rapidité de la fonte de l'énorme calotte glaciaire reste sans réponse.

Quels que soient les processus impliqués, il apparaît désormais clairement que la glace au Groenland peut fondre plus rapidement que prévu et que cette théorie s'est déjà vérifiée à plusieurs reprises par le passé. Une nouvelle analyse des données historiques concernant l'étendue de la calotte glaciaire au Groenland montre que la fonte de la totalité de la calotte est possible si le réchauffement persiste au rythme prévu au cours des prochaines décennies (Charbit et alii, 2008).

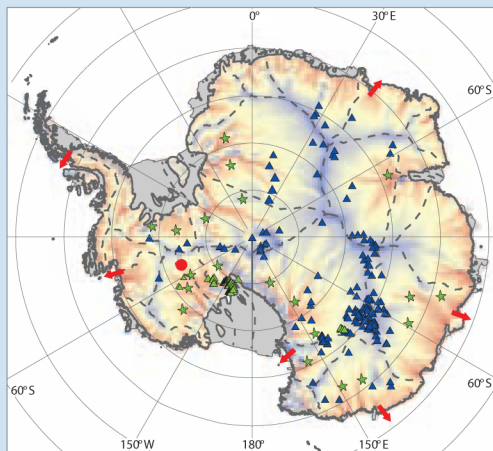
L'Antarctique est également concerné par la fonte des glaces, et plus particulièrement la calotte glaciaire de l'Antarctique occidentale. Celle-ci contient suffisamment

de glace pour élever le niveau des mers d'environ 5 mètres. Elle ressemble à une épave comportant une soudure gelée avec les montagnes submergées. Elle a toujours été considérée comme potentiellement instable, surtout parce que les eaux océaniques plus chaudes pourraient faire fondre le lien gelé entre la glace et la roche. En 2008, des chercheurs ont estimé que la fonte des glaces de la calotte glaciaire de l'Antarctique occidentale avait progressé de 60 % de 1996 à 2006 (Rignot et alii, 2008). La fonte des glaces de la péninsule Antarctique, qui s'étend de l'Antarctique occidentale à l'Amérique du Sud, a augmenté de 140 %. Les processus affectant cette péninsule incluent l'accélération des écoulements du glacier causés par une atmosphère plus chaude et des températures océaniques plus élevées (Rignot et alii, 2008) (**Encadré 1**).

La récente disparition d'un certain nombre de plateformes de glace est un facteur supplémentaire qui pourrait porter atteinte à l'intégrité des immenses calottes glaciaires en Antarctique. Ces plateformes flottent sur l'océan mais sont attachées indirectement aux calottes glaciaires. Elles agissent souvent comme un bouchon de bouteille ; elles retiennent les glaciers, dont la glace fondue ferait s'élever le niveau des mers, sur le continent.

Une grande partie de la plateforme de Wilkins s'est effondrée en février 2008 (Braun et alii, 2008). A cette

### Encadré 1 : Le système hydrologique sous-glaciaire en antarctique



- ▲ Lac sous-glaciaire
- ▲ Lac sous-glaciaire actif
- ★ Bassin versant - lac actif
- ↑ Événements d'immersion
- Activité volcanique

L'année polaire internationale, qui a débuté en mars 2007 et se terminera en mars 2009, est un programme scientifique mis en place dans le but d'étudier l'évolution des régions arctique et antarctique. L'étude de l'écoulement des eaux de fonte de la calotte glaciaire constitue l'une des tâches les plus ardues. De nouvelles données démontrant l'existence de réseaux hydrologiques d'envergure sous les nappes de glace polaires ont ravivé les inquiétudes quant à la stabilité de la calotte glaciaire.

La calotte glaciaire antarctique abrite plus de 150 lacs sous-glaciaires, dont le lac Vostok, qui se distingue par son étendue, comparable à celle du lac Ontario. Grâce à des images haute résolution de la surface de cette nappe de glace, les scientifiques ont pu analyser le cheminement des eaux à travers des systèmes hydrologiques composés de grands lacs et rivières interconnectés et ignorés jusqu'alors. Bien que la superficie et le niveau d'interconnexion de ces derniers restent inconnus, le réseau hydrographique en Antarctique est probablement plus grand que celui du bassin du Mississippi.

Au cours des décennies à venir, les changements importants que connaîtront les régions polaires vont accentuer la fonte de la calotte glaciaire et par là même le phénomène de montée des océans. Sous les fleuves de glace et glaciers émissaires qui acheminent la glace vers les océans, de l'eau et des sédiments humides déformables lubrifient la base, accélérant ainsi l'écoulement. En Antarctique, les lacs sous-glaciaires influent sur la vitesse des courants des fleuves de glace et des glaciers émissaires et engendrent l'apparition de nouveaux affluents en favorisant la lubrification.

Les réseaux fluviaux sous-glaciaires du Groenland et de l'Antarctique offrent un analogue moderne et précieux des dynamiques passées de la calotte glaciaire. Les vidanges des lacs glaciaires préhistoriques ont sculpté la topographie de vastes régions d'Amérique du Nord, d'Europe et d'Asie. Ces inondations ont également entraîné avec elles de grandes quantités de sédiments et d'eau douce vers les deltas et océans, perturbant certainement temporairement la circulation thermohaline des océans.

Sources : Allison et alii, 2007 ; Bell, 2008 ; Shaw, 2002 ; Toggweiler et Russell, 2008

époque, le British Antarctic Survey avait déclaré que cette plateforme menaçait de s'effondrer (BAS, 2008). En décembre 2008, des images satellites radar montraient des fissures supplémentaires à l'intérieur de la plateforme de Wilkins, principalement au sommet du pont de glace stabilisant le bord de la plateforme. La largeur du pont de glace est passée de 6 à 2,7 kilomètres depuis l'effondrement du mois de février (ESA, 2008).

### Hausse du niveau des mers

D'après la dernière évaluation du GIEC (Groupe intergouvernemental sur l'évolution du climat), le niveau des mers devrait augmenter de 18 à 59 cm au cours du siècle à venir, à cause de la dilatation thermique due à l'augmentation de la température des océans et à la fonte des glaciers (IPCC, 2007). Toutefois, depuis la publication de ce rapport, plusieurs chercheurs ont déclaré que la hausse pouvait, voire allait, être nettement plus importante. Ces nouvelles prédictions se basent en partie sur les réévaluations de la probabilité du bris de la

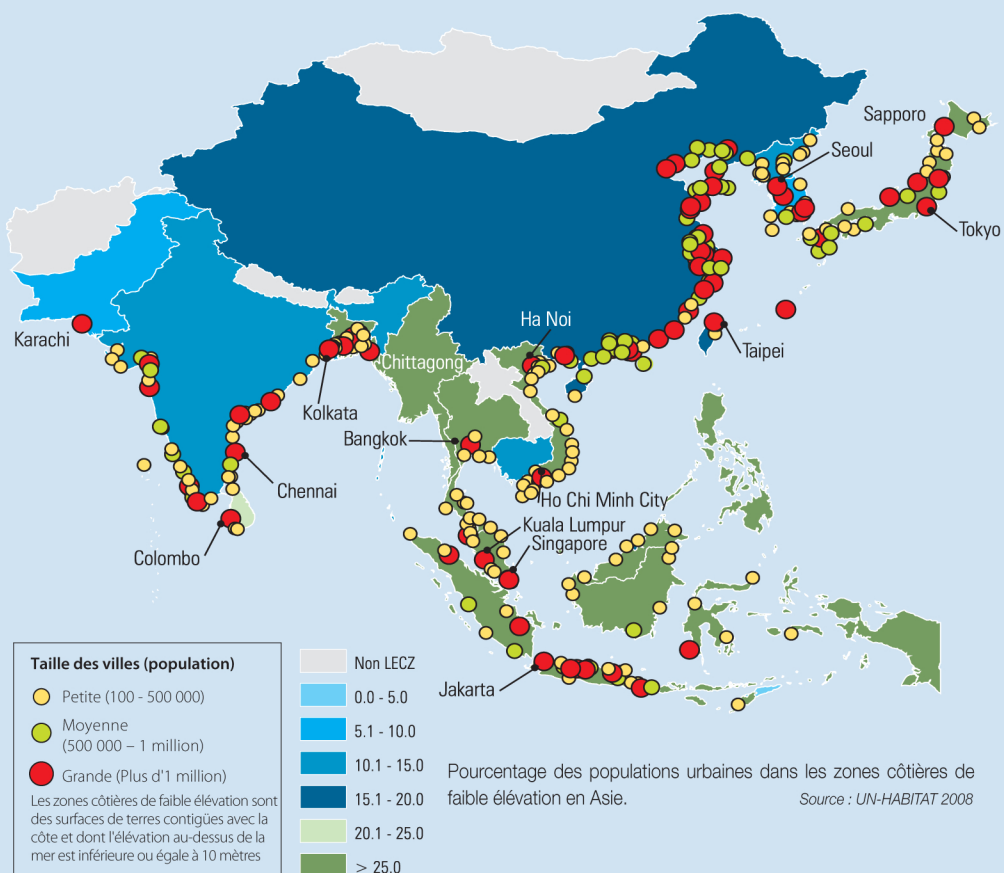
calotte glaciaire du Groenland et de l'Antarctique.

Par exemple, une étude présentée lors d'une conférence de l'Union européenne des géosciences à Vienne en avril a démontré qu'une hausse située entre 0,8 et 1,5 mètres était plus probable (Schiermeier, 2008).

Errata : Une étude complémentaire toute récente effectuée sur la dynamique de la fonte des glaciers et des calottes glaciaires autorise à prédire une élévation potentielle du niveau de la mer à hauteur de 2 mètres au courant du prochain siècle, en raison des écoulements provenant de la fonte de l'ensemble de la glace planétaire formée sur terre ferme dont les contributions essentielles émaneront du Groenland, de l'Antarctique et de différents glaciers et calottes glaciaires (Pfeffer et alii, 2008)

Une telle montée serait un phénomène encore jamais apparu par le passé. Le niveau des mers a augmenté de 2 centimètres au 18ème siècle, de 6 centimètres au 19ème siècle et de 19 centimètres au 20ème. Les estimations pour le 21ème siècle prévoient une hausse de 30 centimètres sur la base des taux observés pendant les quelques premières années (Jevrejeva et alii, 2008). Cependant, ces prévisions ne sont pas sans précédent. En effet, elles seraient similaires à celles enregistrées à la fin de la dernière ère glaciaire. A ce moment, après la

Figure 2 : Villes d'Asie menacées par la montée des océans

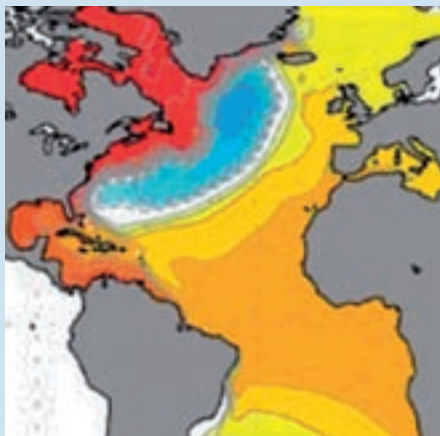


disparition des calottes glacières, le niveau des mers a augmenté de 70 à 130 centimètres (Carlson et alii, 2008).

Une hausse d'un mètre au niveau mondial aurait les conséquences suivantes : le déplacement d'environ 100 millions de personnes en Asie, principalement dans l'est de la Chine, au Bangladesh et au Vietnam ; de 14 millions en Europe ; et 8 millions en Afrique et Amérique du Sud (**Figure 2**). Cependant, une nouvelle étude sur la rapidité à laquelle l'arrivée de l'eau de fonte provenant des calottes glacières, ou de son équivalent en glace, dans les océans influencerait le niveau des mers montre que, dans les premières années, les eaux n'envahiraient pas la terre partout à la même vitesse. Cela prendra plusieurs dizaines d'années pour l'eau se répandre partout dans le monde.

La majeure partie de l'eau de fonte provenant du Groenland, sera au début cantonnée à l'Atlantique (**Figure 3**). Cinquante ans après l'arrivée des eaux, la hausse pourrait être trente fois supérieure dans certaines parties de l'Atlantique Nord, dont le Golf du Mexique, que dans le Pacifique. De la même manière, l'étude a montré que l'eau issue de l'effondrement de la calotte glaciaire de l'Antarctique envahirait les côtes de l'hémisphère sud, alors que le phénomène serait à peine visible dans l'hémisphère nord pendant au moins 50 ans (Stammer, 2008).

**Figure 3 :** Réaction globale de l'océan au Groenland fonte de la calotte glaciaire



La carte illustre la réaction de l'océan sur dix ans à une pression localisée d'eau douce, associée au recul de la calotte glaciaire du Groenland, avec un écart mesuré en millimètres. L'étalement et la redistribution de l'eau douce dans l'océan commence par une onde interne initiale, avec des hauteurs négatives connexes de la surface des mers illustrées par les nuances de bleu et des hauteurs positives dans des tonalités de rouge et d'orange, se déplaçant vers le sud, de la mer du Labrador vers l'équateur. Elle continue à traverser l'Atlantique vers l'est et vers le pôle.

Source : Stammer (2008)

Toutefois, quoi que révèlent les simulations détaillées, les recherches effectuées en 2008 suggèrent que l'élévation du niveau de la mer - due à la dilatation thermique, au recul des glaciers alpins et à la fonte de la calotte glaciaire - sera probablement beaucoup plus forte et rapide qu'on ne le pensait il y a deux ans encore. Aussi vite que l'on freine les changements climatiques, cela n'empêchera pas le niveau de la mer de monter. Il est donc plus que jamais urgent de consentir des efforts afin de s'adapter à cette nouvelle donne.

### PUITS, SOURCES ET FEEDBACKS

L'avenir climatique dépend dans une large mesure de la rapidité avec laquelle les gaz à effet de serre s'accumulent dans l'atmosphère. Donnée qui est tributaire, à son tour, de la quantité de gaz que nous émettons dans l'atmosphère - ainsi que de la part de ces gaz que la nature est en mesure d'absorber.

Depuis 2000, les émissions de dioxyde de carbone anthropogéniques augmentent quatre fois plus vite que cela n'était le cas au cours des années 90. La majeure partie d'entre elles résulte de la combustion d'énergies fossiles et de la production de ciment (voir Rendement des ressources, chapitre 5). Ces émissions sont désormais supérieures de 38 % au niveau de 1992, année où les gouvernements, réunis au Sommet de la terre, se sont engagés à prévenir les changements climatiques dangereux (Global Carbon Project, 2008).

Dans le même temps, les puits de carbone naturels qui absorbent une partie de nos émissions ne sont plus aussi efficaces que par le passé. Les principaux puits de carbone résident dans les océans, les étendues gelées de l'Arctique et les écosystèmes forestiers. Or, tous voient leur capacité d'absorption se réduire. L'examen de diverses études suggère que l'absorption du carbone par les océans a diminué de 10 millions de tonnes en 2007. A l'heure actuelle, rien ne permet de déterminer avec certitude s'il s'agit là d'une tendance à long terme (CDIAC, 2008).

### Le carbone de l'Arctique

L'Arctique se réchauffe plus vite que toute autre région de la planète. Il est aussi un gigantesque réservoir de carbone, stocké sous la forme de méthane et susceptible de se libérer dans l'atmosphère à mesure que la planète se réchauffe. Or, une libération massive de méthane apporterait une contribution majeure au réchauffement climatique, en transformant les écosystèmes naturels, qui jusque là jouaient un rôle de piège à carbone, en véritables sources de carbone. Une telle évolution serait de nature à initier un effet boule de neige incontrôlable en termes de réchauffement planétaire.

Le carbone est stocké dans les sols, permafrost compris, et sous les fonds océaniques de l'Arctique.

Deux études réalisées en 2008 ont revu à la hausse les chiffres relatifs à la quantité de carbone stockée dans le permafrost. Ainsi, une étude nord-américaine a conclu que celle-ci pourrait être supérieure de 60 % aux suppositions actuelles (Ping et alii, 2008). Une autre étude internationale multipliait quant à elle par deux les estimations concernant les réserves totales de carbone contenues dans l'ensemble du permafrost arctique (Schoor et alii, 2008). Ces conclusions suggèrent qu'à l'heure actuelle, il y a deux fois plus de carbone dans le permafrost septentrional qu'il n'y en a dans l'atmosphère.

Les chercheurs qui se penchent sur l'impact de la fonte des glaces de mer dans l'Arctique sur les températures terrestres estiment que le réchauffement futur des zones occidentales de la région pourrait être 3,5 fois supérieur à la moyenne mondiale. Ce réchauffement accéléré serait particulièrement prononcé à l'automne, et entraînerait une dégradation encore plus rapide du permafrost dans les tourbières du Nord (Lawrence et alii, 2008).

La région arctique est un très important réservoir de méthane, stocké sous la forme d'hydrates dans les réseaux glaciers du permafrost ou sous le fond de l'Océan Arctique. En 2008, l'exploitation du méthane offshore contenu dans les hydrates en tant que source d'énergie a connu un regain d'intérêt. Mais les climatologues craignent que les hydrates de méthane puissent s'échapper dans l'atmosphère si le permafrost venait à fondre ou si les gisements offshore gelés devaient être déstabilisés par des eaux plus chaudes (Bohannon, 2008).

En 2008, des océanologues ont découvert plus de 250 panaches de méthane le long de la plate-forme continentale au nord-ouest de Svalbard (Connor, 2008). De même, une étude internationale du plateau sibérien a révélé des concentrations de méthane élevées au large du delta de la rivière Lena (Semiletov, 2008). Pendant ce temps, des chercheurs ont montré qu'une fois amorcée, la fonte du permafrost de la Sibérie orientale - dont on pense qu'il pourrait contenir 500 milliards de tonnes de carbone - serait irréversible. Quelque 250 milliards de tonnes pourraient ainsi être dégagées dans l'atmosphère en un siècle (Khvorostyanov et alii, 2008).

Les tourbières septentrionales qui ne sont pas gelées contiennent elles aussi d'importantes réserves de carbone et sont vulnérables en cas de réchauffement climatique. En effet, la capacité de la tourbe à stocker le carbone est fortement tributaire de son humidité. Or, une hausse des températures assècherait la tourbe, amoindrissant ainsi les nappes phréatiques. Une nouvelle simulation a montré que ceci conduirait à une perte massive du carbone organique contenu dans les sols. Dans le nord de la province de Manitoba, au Canada, un réchauffement de 4,0 °C libérerait 86 % du carbone captif dans les profondeurs des tourbières (Ise et alii, 2008).

En 2007 et 2008, les concentrations de méthane dans

l'atmosphère ont amorcé une tendance haussière, après être restées stables pendant près d'une décennie. Au départ, les chercheurs pensaient que ces concentrations accrues, qu'ils imputaient au dégazage des tourbières, se confinaient à l'hémisphère nord. Mais des résultats analogues ont été obtenus dans l'hémisphère sud, suggérant ainsi une hausse à l'échelle mondiale (Rigby et alii, 2008). Les scientifiques attendent de disposer de davantage de données pour déterminer si les valeurs mesurées correspondent à une anomalie passagère, à un pic ou à l'amorce d'une nouvelle tendance alarmante.

### Stockage dans les forêts

L'un des motifs de crainte en relation avec la capacité des forêts à absorber le dioxyde de carbone réside dans le fait que les aires boisées elles-mêmes régressent et contribuent aux émissions. Quelque 1,5 milliard de tonnes de carbone sont ainsi libérées chaque année dans l'atmosphère, presque exclusivement du fait de la déforestation dans les Tropiques (Global Carbon Project, 2008 ; Canadell et Raupach, 2008). Un autre motif a trait à l'altération du fonctionnement des forêts intactes : leur capacité à stocker le carbone pourrait avoir atteint son apogée et la hausse des températures pourrait d'ores et déjà nuire à l'absorption du carbone par la végétation dans l'hémisphère nord. Des températures plus élevées imposent des contraintes considérables aux arbres pendant l'été, et la photosynthèse s'interrompt plus tôt. Or, une fois la photosynthèse à l'arrêt, le carbone n'est plus stocké. Sans compter que les forêts sous stress sont vulnérables aux ravages causés par la pollution, les nuisibles et les maladies, susceptibles de les transformer en sources de carbone (Piao et alii, 2008) (voir Gestion des écosystèmes, chapitre 1).

### L'Amazonie à la croisée des chemins

La forêt amazonienne, qui couvre 5 millions de kilomètres carrés et abrite un quart des espèces présentes dans le monde, pourrait être à la croisée des chemins sur le plan climatique. En 2008, l'un des principaux modèles climatiques mondiaux, réalisé par le centre Hadley de l'Agence météorologique britannique, prédisait que l'Amazonie pourrait être à l'aube d'un basculement crucial. Au delà de ce point, les précipitations pratiquement quotidiennes qui alimentent la jungle deviendraient moins prévisibles, les sols s'assècheraient et une importante partie de la forêt serait appelée à disparaître (Harris et alii, 2008) (**Encadré 2**).

L'une des raisons de la vulnérabilité de la forêt amazonienne réside dans le fait que ses précipitations dépendent, de manière critique, d'un schéma océanique tropical mis à mal par le changement climatique. Lorsque ce schéma est perturbé par un Pacifique Est plus chaud et un Atlantique Nord tropical qui se réchauffe plus rapidement que l'Atlantique Sud, l'expérience a montré

que le climat du Brésil devenait plus sec. Ainsi, en 2008, on a pu démontrer que la grave sécheresse qui a frappé l'Amazonie en 2005 était la conséquence d'une hausse inhabituelle des températures dans l'Atlantique Nord (Harris et alii, 2008). Un doublement des concentrations de dioxyde de carbone dans l'atmosphère pourrait suffisamment réchauffer les océans pour réduire de 40 % les précipitations dans le bassin amazonien. Une telle baisse des précipitations ralentirait de 30 % la croissance de la végétation tropicale. Et ceci sans compter la baisse prévisible de sa croissance, à hauteur de 23 %, directement imputable à l'augmentation des températures ambiantes (Harris et alii, 2008).

Si l'on se base sur ce scénario, le réchauffement du bassin amazonien, allié à la sécheresse, pourrait faire s'emballer le recul de la forêt. Or, la perte d'espaces boisés entraînerait une nouvelle hausse des températures, faisant ainsi passer le réchauffement local prévu pour ce siècle de 3,3 °C à 8,0 °C. Et, même si par la suite les températures retombaient à leur niveau antérieur, les

#### Encadré 2 : Et au milieu coule une rivière

Le rôle capital que joue la région amazonienne pour le climat mondial a été mis en évidence par une étude portant sur l'impact des effluents de l'Amazonie dans l'Atlantique sur le cycle du carbone de l'océan. Plus long fleuve au monde, l'Amazonie charrie environ un cinquième de toutes les eaux fluviales au monde. Elle envoie ainsi un flux d'eau douce vaseuse dans l'Atlantique, accumulant sur son tracé de plusieurs milliers de kilomètres les nutriments de la forêt tropicale, dont de l'azote. Les microbes présents dans ses eaux se nourrissent de ces nutriments et fertilisent l'océan, favorisant la croissance des planctons et, de ce fait, l'absorption par les océans du dioxyde de carbone contenu dans l'atmosphère.

Ce constat ouvre de nouvelles perspectives quant à la capacité du système océanique global à absorber les émissions générées par l'homme. Mais il souligne aussi la vulnérabilité du puits de carbone océanique aux bouleversements intervenant à terre, tels que la déforestation et les sécheresses. Ainsi, une sécheresse en Amazonie porterait atteinte à la forêt tropicale, mais ralentirait aussi le débit du fleuve, réduisant l'apport en nutriments et, partant, la capacité de l'océan à piéger le dioxyde de carbone contenu dans l'air.

Source : Subramaniam et alii, 2008



L'Amazonie alimente l'Océan atlantique en sédiments.

Source : NASA

précipitations ne se normaliseraient pas, car il n'y aurait plus de forêts pour les favoriser par évapotranspiration. Enfin, les sols se seraient asséchés sous l'effet des rayons du soleil et seraient plus enclins à l'érosion, ce qui ne ferait qu'accroître la sécheresse (Betts et alii, 2008 ; Mahli et alii, 2008).

### Carbone noir et autres résultats

Les gaz à effet de serre ne sont pas les seuls facteurs anthropogéniques qui influent sur le climat. Il y en a bien d'autres, et non des moindres. Ainsi, de plus en plus d'éléments portent à croire que la suie, les aérosols et le carbone noir générés par les feux allumés dans la nature ont eux aussi des conséquences non négligeables sur l'instabilité du climat. Les émissions mondiales de carbone noir augmentent à vitesse alarmante. A titre d'exemple, on pense que les émissions chinoises pourraient avoir doublé depuis 2000. L'influence du carbone noir sur le réchauffement climatique pourrait ainsi être trois fois supérieure aux estimations exposées dans le dernier rapport du GIEC, ce qui le hisserait en deuxième place des principaux agents climatiques, juste derrière le dioxyde de carbone (Ramanathan et Carmichael, 2008).

Ces conclusions restent toutefois sujettes à controverse, notamment parce que la suie peut aussi bien entraîner un refroidissement qu'un réchauffement. Ainsi, lorsque le carbone noir recouvre la glace, il en assombrit la surface, absorbant davantage d'énergie solaire et entraînant ainsi un réchauffement et une fonte localisés. Il est donc possible que la suie contribue à la disparition des glaciers dans certaines régions et puisse même expliquer l'accélération de la fonte des glaces dans l'Himalaya et l'Hindu Kush (Ramanathan et Carmichael, 2008)

(**Encadré 3**). Mais la suie dégagée par le nombre croissant de feux incontrôlés en Amérique du Nord et en Sibérie protège aussi l'Arctique de la lumière directe du soleil et aide ainsi à refroidir la région (Stone et alii, 2008).

Un autre polluant atmosphérique connu pour ses propriétés réfrigérantes a été réévalué en 2008. Les aérosols sulfatés, souvent le principal ingrédient des pluies acides, rafraîchissent l'atmosphère en dispersant la lumière du soleil dans l'espace. Les nouvelles études suggèrent que les efforts entrepris dans le but de lutter contre les pluies acides en réduisant les émissions de sulfate, principalement après 1980, ont participé de manière substantielle au réchauffement très rapide de l'Europe et de l'Atlantique Nord depuis 1980 (Ruckstuhl et alii, 2008 ; Van Oldenborgh et alii, 2008).

Autre résultat inattendu : l'augmentation des retombées de sulfates acides en Chine ont considérablement freiné la production naturelle de méthane par les bactéries présentes dans les rizières, contribuant ainsi à ralentir le réchauffement climatique (Gauci et alii, 2008). Ces données n'ébranlent cependant en rien l'argument selon lequel la pollution humaine entraîne un réchauffement de la



planète, mais elles mettent en lumière un certain nombre d'incertitudes non négligeables. Plus important encore, elles démontrent la complexité inhérente aux systèmes terrestres, ainsi que les équilibres délicats des effets cumulés dans des circonstances variables et à des échelles diverses.

## IMPACTS ET VULNERABILITES

De nouvelles études ont montré que les vents des cyclones les plus violents se sont intensifiés sur tous les océans (Elsner et alii, 2008). Cette augmentation s'est révélée particulièrement marquée dans les bassins océaniques tempérés, dont l'Atlantique Nord, mais aussi le Pacifique Nord-Est et le sud de l'Océan indien, qui ont connu les plus fortes hausses en termes de températures des eaux.

Les cyclones tropicaux ne se forment que lorsque les températures océaniques dépassent 26 °C environ. C'est la raison pour laquelle les océans chauds sont plus susceptibles de générer des cyclones tropicaux. Mais les choses ne sont pas toujours aussi simples. La plupart des tempêtes potentielles ne se transforment jamais en cyclones tropicaux, même au-delà de cette température, car d'autres conditions atmosphériques interviennent.

Une récente simulation de premier plan prévoit qu'une nouvelle hausse des températures dans l'Atlantique Nord pourrait en fait contrer la formation d'ouragans, comme

sont appelés les cyclones tropicaux dans cette région. Cette étude anticipe une baisse de 18 % du nombre annuel d'ouragans d'ici la fin de ce siècle. Si elle a retenu l'attention, c'est que l'équipe qui l'a réalisée avait précédemment produit une estimation ex-post remarquablement précise du nombre d'ouragans sur ces 30 dernières années (Knutson et alii, 2008).

L'étude pose qu'outre la température océanique elle-même, le principal facteur de la formation des ouragans réside dans l'écart thermique qui existe entre la surface de l'océan et le sommet de la troposphère, région dans laquelle les ouragans atteignent leur apogée. Les auteurs de l'étude affirment que la récente multiplication des ouragans dans l'Atlantique Nord est liée à un réchauffement inhabituel de l'Atlantique Nord tropical, alors même que les températures de la troposphère sont restées normales, ce phénomène étant probablement dû à des fluctuations naturelles à court terme. Si cette combinaison se révèle être une anomalie, la récente tendance à l'intensification des ouragans pourrait cesser.

Toutefois, cette étude est controversée. Certains de ses détracteurs soulignent que le modèle ne peut pas reproduire les ouragans les plus violents - ceux qui inquiètent le plus la population et qui se sont multipliés. D'autres indiquent que les conclusions de l'étude se limitent à l'Atlantique Nord. Apparemment, d'autres règles s'appliquent au Pacifique et à d'autres bassins, où le réchauffement planétaire devrait produire davantage

de cyclones, et des cyclones plus dangereux.

L'année 2008 a livré son lot d'autres prévisions significatives en matière de phénomènes météorologiques extrêmes, les chercheurs s'efforçant de fournir des résultats pertinents à l'échelle régionale et sous-régionale. Une étude prévoit ainsi que les températures élevées extrêmes au quotidien devraient augmenter deux fois plus vite que les températures moyennes (Brown et alii, 2008). Une autre suggère que les précipitations extrêmement intenses devraient se multiplier dans une Europe plus chaude (Lenderin et van Meijgaard, 2008).

L'inquiétude croissante qui règne autour des pénuries d'eau à l'échelle mondiale met en évidence de nouvelles découvertes quant à l'impact que pourraient avoir les changements climatiques sur le cycle hydrologique, dont les précipitations, l'évaporation des sols et la disparition des flux d'eaux de fonte glaciales dans les cours d'eau. De nouvelles études prédisent des réservoirs vides dans le bassin méditerranéen et le Midwest américain, des rivières à sec en Chine et au Moyen-Orient et des débits hydrologiques moins prévisibles, caractérisés par des crues-éclair dans une Asie du Sud dépourvue de glaciers (Barnett et Pierce, 2008).

Tout au long de l'année, plusieurs chercheurs ont souligné le danger qu'il y a à communiquer des prévisions trop précises en matière de changements climatiques locaux, et plus particulièrement de

### Encadré 3 : Fonte des glaciers alpins



L'un des signes les plus flagrants du réchauffement de la planète est le recul et l'amincissement de presque tous les glaciers de montagne dans les régions tropicales et tempérées, ainsi qu'aux latitudes polaires du globe. De nouvelles données recueillies par le World Glacier Monitoring Service de l'université de Zurich au sujet de 30 glaciers répartis dans neuf chaînes montagneuses soulignent l'étendue du phénomène. Ces glaciers de référence, qui connaissaient un état d'équilibre au début des années 80 en récupérant chaque année le niveau de précipitation perdu pendant la saison des fontes, diminuent à vitesse grand V depuis les deux dernières décennies.

Et cette diminution ne fait que s'accroître. De 2005 à 2006, période de données la plus récente, les glaciers de référence ont perdu en moyenne 1,4 mètre d'épaisseur, près de cinq fois la perte annuelle observée dans les années 80 et 90. Parmi les glaciers les plus touchés, citons le Breidablikkbrea en Norvège, qui a perdu plus de 3 mètres dans l'année, l'Ossoue en France, qui a perdu près de 3 mètres, et le Maladeta en Espagne, qui s'est affiné de 2 mètres. Sur les 30 glaciers de référence, un seul, l'Echaurren Norte au Chili, a pris du volume au cours de cette période. Le rapport conclut que 750 millions de personnes pourraient fortement souffrir de la disparition des glaciers himalayens et de l'intermittence des cours d'eau qu'ils alimentent, particulièrement au nord de l'Inde.

Avec la fonte des glaciers, les substances dangereuses transportées dans l'atmosphère, condensées dans les molécules d'eau, déposées en surface, puis enfermées dans la glace sont désormais relâchées dans l'environnement. Le DDT, dont l'usage est aujourd'hui restreint, se retrouve en quantités inattendues parmi les populations de pingouins d'Adélie, qui occupent une partie de la côte de l'Antarctique. La présence de polluants organiques tels que les insecticides dans les eaux de fonte des glaciers des Rocky Mountains, en Amérique du Nord, est solidement documentée, et des polychlorobiphényles, ou PCB, ont été décelés en aval des glaciers européens. Au fur et à mesure qu'ils vont fondre, les glaciers de montagne des régions tempérées vont relâcher des substances chimiques nocives dans les écosystèmes. Parallèlement, les communautés devront faire face à des inondations avant de souffrir de sécheresses (voir Substances nocives et déchets dangereux, chapitre 2).

A elle seule, l'Asie du Sud compte quasiment un milliard de personnes qui dépendent directement des eaux de fonte des glaciers de l'Himalaya et de l'Hindu Kush.

Sources : WGMS, 2008a ; WGMS, 2008b ; Geisz et alii, 2008 ; Blais et alii, 2001 ; Schindler et Parker, 2002 ; Branan, 2008

précipitations et de débits hydrologiques. Il faut accepter l'incertitude qui plane quant à certains aspects des changements climatiques. Cette imprévisibilité ne devrait toutefois pas être prétexte à retarder la mise en œuvre de mesures en faveur du climat. Loin de là. Cette imprévisibilité participe du danger que recèlent ces changements (Smith, 2008).

## POINTS DE BASCULEMENT

Face aux risques de voir la calotte glaciaire s'écrouler, du méthane se dégager du permafrost, les écosystèmes de la forêt tropicale être en proie à la sécheresse et la configuration de la circulation océanique se déstabiliser, nombreux sont ceux qui craignent que les systèmes vitaux de la planète se rapprochent de seuils critiques. Ces craintes sont renforcées par l'accumulation de preuves indiquant que ce type de phénomène a déjà eu lieu par le passé. Au cours de l'histoire, les bouleversements climatiques, tels que la fin de l'âge de glace, se sont produits de manière abrupte. L'étude de ces changements passés pourrait nous aider à prédire si les changements climatiques anthropogéniques sont susceptibles d'accélérer des altérations irréversibles.

Au début de l'année 2008, une équipe de scientifiques a publié pour la première fois une étude détaillée des systèmes terrestres vulnérables qui pourraient receler des points de basculement. Pour désigner ces systèmes vulnérables, l'équipe a introduit le concept d'"élément de basculement" et a convenu d'une définition du point de basculement comme étant "... un seuil critique auquel une perturbation infime peut altérer l'état ou le développement d'un système sur le plan qualitatif...". (Lenton et alii, 2008).

L'équipe s'est penchée sur neuf de ces éléments et a prévu des périodes de transition, de manière à souligner leur pertinence stratégique. Elle a également proposé une hausse moyenne de la température mondiale proche d'une valeur critique pour chaque élément de basculement.

Les éléments pris en compte pour leur importance stratégique sont la mousson asiatique, la mousson d'Afrique occidentale, les glaces de mer de l'Arctique, le dépérissement de l'Amazonie, la déforestation boréale, la circulation thermohaline, l'oscillation australe El Niño, l'effondrement de la calotte glaciaire au Groenland et le recul de la calotte glaciaire dans l'Antarctique occidental (**Encadré 4**) (Voir Gouvernance environnementale, chapitre 6). L'étude met en garde contre le sentiment de sécurité engendré à tort par les projections faisant état d'une transition sans heurt lors des changements climatiques. Elle souligne que trop de seuils critiques pourraient être franchis au cours de ce siècle eu égard à l'évolution du climat. Les scientifiques espèrent mettre en place des systèmes d'alerte précoce afin de déterminer quand les éléments de basculement suggérés

deviendront instables (Lenton et alii, 2008).

L'objectif visant à mettre en place un système d'alerte précoce pourrait être compliqué par les effets cumulés et les interactions des différents systèmes terrestres, compte tenu de la complexité inhérente au fait de travailler à des échelles multiples et dans des circonstances variables. En 2008, cette complexité a été mise en lumière lorsque les efforts en matière d'alerte précoce ont résulté dans l'observation d'une circulation thermohaline accrue, contre toute attente, dans les mers du Labrador et d'Irminger (Vage et alii, 2008). Une autre étude a mis au jour une corrélation entre El Niño, la mousson asiatique et la température de la surface des mers de l'Atlantique au sud de l'équateur. Ces indices d'interrelation offrent la perspective d'établir des prévisions saisonnières plus précises pour la mousson asiatique, dont son échec potentiel (Kucharski et alii, 2008).

## CONCLUSION

La science des changements climatiques reste en proie à bon nombre d'incertitudes, notamment eu égard au fonctionnement et aux interactions des systèmes terrestres dans le temps, de même qu'à la réaction des sous-systèmes aux rétroactions. Davantage de recherches sont notamment requises pour mieux cerner la nature



Un ouragan frappe Cuba en 2008.

Source : Associated Press/ Eduardo Verdugo

des éventuels points de basculement dans les systèmes opérant à des échelles diverses. A ce jour, tout porte à croire que nous pourrions, dans quelques années, franchir certains points de basculement susceptibles de perturber la situation météorologique saisonnière qui sous-tend les activités agricoles de la moitié de l'humanité, d'amoinrir l'efficacité des puits de carbone océaniques et terrestres et de déstabiliser la calotte glaciaire, ce qui pourrait engendrer une élévation inattendue du niveau des mers au 21<sup>e</sup> siècle (Lenton et alii, 2008 ; Schellnhuber, 2008).

### Encadré 4 : Un point de basculement en Afrique ?

Le débat fait rage. Le Sahel, région parmi les plus vulnérables à la variabilité du climat, est-il près de franchir un point de basculement ? Certaines études suggèrent que le Sahel, en Afrique occidentale, pourrait connaître une résurgence soudaine des pluies si le réchauffement planétaire et l'évolution des températures océaniques de l'Atlantique Nord devaient, ensemble, contribuer à intensifier la mousson ouest-africaine. Ce point de basculement a déjà été franchi par le passé : entre 7 000 et 3 000 avant notre ère, d'importantes zones du Sahel étaient verdoyantes, après avoir connu une période de sécheresse exceptionnelle aux environs de 8 500 ACN. Des éléments de preuve publiés en 2008 suggèrent que même si ce revirement devait se produire, il pourrait ne pas être aussi brutal que certains l'affirment. L'examen de pollens et de sédiments lacustres prélevés au Sahara avait pour but de mieux comprendre comment le Sahel s'était asséché sur une période de mille ans amorcée voici six millénaires. D'autres études suggèrent que ce changement n'a pris que quelques décennies. La quête d'un outil fiable permettant de prédire l'état des précipitations dans le Sahel se poursuit. Toutefois, une étude indique qu'une corrélation avec les températures de la surface de la mer valable au 20<sup>e</sup> siècle pourrait ne plus s'appliquer au 21<sup>e</sup> siècle. Cela étant, même si le Sahel devait évoluer vers des paysages luxuriants, seule une bonne gouvernance permettrait de s'assurer que cette opulence ne devienne pas une source de conflits et de gabegie (Voir Gestion des écosystèmes, chapitre 1, et Désastres et conflits, chapitre 4).

Sources : IPCC, 2007 ; Kropelin et alii, 2008 ; Brovkin et Claussen, 2008 ; Cook, 2008



Source : Mike Hettwer

Un cliché provenant du site archéologique de Gobero, au Niger, le long des rives du mégalac Tchad, à plusieurs centaines de kilomètres des rives actuelles du lac. Ces débris d'une mère et de deux enfants datent d'environ 3 300 ans avant notre ère.

Les éléments scientifiques fondamentaux qui se cachent derrière les prévisions faisant état de changements climatiques extensifs et dommageables sont irréfutables (IPCC, 2007). A moins d'une intervention rapide visant à stabiliser, puis à diminuer les concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère, ces changements engendreront des dommages majeurs pour les écosystèmes, les ressources naturelles, les populations humaines et leurs activités économiques fragiles. Ces ravages pourraient assurément mettre un terme à la prospérité dans les pays développés et mettre en péril la subsistance-même des habitants des pays en développement (**Encadré 5**).

### Encadré 5 : Gérer l'inéluctable

Jusqu'à une période très récente, les transferts de technologies destinés à combattre les changements climatiques sont concentrés sur l'atténuation de ceux-ci. Rapidement, les sources d'énergie alternatives se sont profilées comme le principal enjeu de ces transferts, puisque la grande majorité des émissions de gaz à effet de serre échoit au secteur de l'énergie. Les technologies énergétiques étant présentées comme centralisées et tributaires de l'infrastructure, les décideurs des pays en développement se sont fixés pour priorité d'émuler les modèles des pays développés en favorisant le développement d'infrastructures, en modernisant la fourniture d'énergie et en stimulant les investissements du secteur privé dans des installations à grande échelle. Le transfert de technologies dans le contexte du climat s'est donc cantonné à des échanges d'expérience, de savoir-faire et de configurations d'équipements entre pays, et plus particulièrement des pays développés vers les pays en développement, sans réelle prise en compte des aspects du déploiement et de la diffusion à l'intérieur des pays (voir Rendement des ressources, chapitre 5).

Aujourd'hui, c'est la question de l'adaptation aux changements climatiques qui occupe le devant de la scène, et certains concepts liés à l'atténuation des changements y ont été purement et simplement transposés. Or, cette approche risque de ne pas fonctionner. Pourquoi ?

Premièrement, l'adaptation n'est pas un concept neuf, au sens où les infrastructures énergétiques modernes le sont. Deuxièmement, les secteurs qui ont besoin d'un apport technologique à des fins d'adaptation sont omniprésents et ne sont pas dominés par un seul secteur, comme l'énergie. Troisièmement, de nombreuses technologies et techniques d'adaptation visant à favoriser un changement de comportement et d'approche sont déjà disponibles dans les pays en développement. Et enfin, quatrièmement, les technologies et techniques les plus nécessaires à des fins d'adaptation n'ont sans doute pas la forte intensité de capital de celles liées à l'atténuation, ce qui signifie que les entreprises ne réaliseront pas d'énormes bénéfices à court terme.

La sélection des technologies d'adaptation peut être un sujet délicat : il convient de faire preuve de la plus grande prudence dans l'introduction de certaines technologies, de manière à prévenir autant que possible les effets secondaires indésirables. L'élaboration et la mise en œuvre de critères adaptés, motivés par l'immédiateté du défi de l'adaptation, permettront d'éviter certains de ces problèmes.

Il existe trois critères essentiels : le rendement, l'équité et la faisabilité.

Tout d'abord, toute technologie sélectionnée doit être soumise à un critère de rendement. Avant d'adopter une quelconque mesure ou série de mesures d'adaptation, il importe de s'assurer que ses avantages sont supérieurs à son coût, surtout au niveau local. Ensuite, il est important que le choix de la technologie d'adaptation soit équitable dans sa distribution. Lorsqu'ils font leur choix parmi les alternatives disponibles, les décideurs peuvent prendre en compte les segments de la population qui en tireront le plus grand bénéfice et dans lesquels la majorité des coûts seront générés. Enfin, certaines options d'adaptation, quoique rentables et équitables, peuvent être inacceptables sur le plan politique, social ou juridique, ou avoir des effets pervers. Dans certains cas, une simple modification de la réglementation en vigueur peut suffire à obtenir les effets escomptés. Mais trop souvent, une évolution des valeurs culturelles et des attitudes est nécessaire. Or, celles-ci peuvent être plus difficiles à changer. Néanmoins, abordés avec respect et rationalisme, les obstacles sociaux et culturels peuvent être négociés, surtout s'il est possible de convaincre les décideurs des communautés des avantages découlant des techniques et technologies d'adaptation.

Il existe cinq secteurs dont il convient de tenir compte tout particulièrement lors de la planification de l'adaptation. Ils sont porteurs de défis, mais permettent également de tirer des enseignements de l'expérience acquise.

Dans de nombreuses zones côtières, la technologie a permis de limiter la vulnérabilité de la société aux perpétuels aléas de la météo. Les techniques et technologies qui ont fait leurs preuves à cet égard, qu'elles soient traditionnelles ou modernes, auront également un rôle à jouer dans l'adaptation aux changements climatiques.

Concernant les ressources en eau, la variabilité du cycle hydrologique induite par les changements climatiques pose de nouveaux défis en termes de planification et de gestion. L'élaboration de stratégies d'adaptation appropriées afin de faire face à cette incertitude accrue exige une approche large, inclusive, eu égard aux rôles multidimensionnels que joue l'eau en tant que facteur crucial à la vie humaine, à la société et aux écosystèmes dont elles dépendent.

Concernant l'agriculture, il est important de prendre divers outils d'adaptation en considération, car il subsiste de nombreuses incertitudes quant aux impacts associés à la variabilité du climat et aux changements climatiques. Une telle approche est essentielle pour se ménager la possibilité de transférer et d'adopter des techniques et technologiques spécifiques et appropriées au site.



Source : Strait Crossing Bridge Ltd.

Le pont de la confédération relie les provinces canadiennes du Nouveau-Brunswick et de l'Île-du-Prince-Édouard. Sur toute sa longueur (13 kilomètres), les piliers et le revêtement routier ont été surélevés d'un mètre, de manière à anticiper l'élévation prévue du niveau des mers, ainsi que les problèmes associés à la formation des glaces, tout au long de sa durée de vie de cent ans.

Dans le secteur de la santé publique, la gestion de l'impact de la variabilité du climat a une longue tradition. Pour accroître la résilience, il est important de se demander où, quand et dans quelle mesure les changements climatiques pourraient affecter la santé publique à l'avenir. Pour faire face aux questions sanitaires associées aux changements climatiques, il est capital de prévoir les interventions en collaboration avec les praticiens, de manière à relever l'ensemble des défis liés à la santé publique.

Enfin, une structure de gouvernance intégrée et exhaustive est capitale si l'on veut que les adaptations soient couronnées de succès, surtout dans le cadre des projets d'infrastructures et dans les milieux urbains. Plus l'intervention est vaste, plus il est nécessaire de disposer d'une bonne gouvernance afin de garantir son rendement, son équité et sa faisabilité. La sensibilisation et la participation des groupes communautaires, de même qu'une implication honnête des intérêts des secteurs public et privé, sont essentielles pour le transfert fructueux de technologies destinées à adapter les systèmes et infrastructures aux changements climatiques.

Source : Klein et alii, 2006

## RÉFÉRENCES

- AGU (2008). Proceeding of the American Geophysical Union Fall Meeting 2008 December. American Geophysical Union. <http://www.agu.org/meetings/fm08.olc/index.php/Program/Session/Search/?show=detail&sessid=381> [Accessed 14 December 2008]
- Allison, I., Béland, M., Alverson, K., Bell, R., Carlson, D., Danell, K., Ellis-Evans, C., Fahrbach, E., Fanta, E., Fujii, Y., Glaser, G., Goldfarb, L., Hovelsrud, G., Huber, J., Kotlyakov, V., Krupnik, I., Lopez-Martinez, J., Mohr, T., Qin, D., Rachold, V., Rapley, C., Rogne, O., Sarukhanian, E., Summerhayes, C. and Xiao, C. (2007). The scope of science for the International Polar Year 2007–08. Produced by the ICSP/ World Meteorological Organization, Geneva
- Ban, K.M. (2008). Statement by United Nations Secretary-General Ban-Ki moon at the opening of the High-Level Segment of COP 14 in Poznań, December 11, 2008 <http://unfccc.int/2860.php>
- Barnett, T.P. and Pierce, D.W. (2008). When will Lake Mead go dry? *Water Resources Research*, 44, W03201, doi:10.1029/2007WR006704
- BAS (2008). *Antarctic ice shelf 'hangs by a thread'*. British Antarctic Survey [http://www.antarctica.ac.uk/press/press\\_releases/press\\_release.php?id=376](http://www.antarctica.ac.uk/press/press_releases/press_release.php?id=376)
- Bell, R.E. (2008). The role of subglacial water in ice-sheet mass balance. *Nature Geoscience* 1(5), 297–304
- Betts, R., Sanderson, M. and Woodward, S. (2008). Effects of large-scale Amazon forest degradation on climate and air quality through fluxes of carbon dioxide, water, energy, mineral dust and isoprene. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 363(1498), 1873–1880
- Blais, J.M., Schindler, D.W., Muir, D.C.G., Sharp, M., Donald, D., Lafrenière, M., Braekelvel, E. and Strachan W.M.J. (2001). *Melting Glaciers: A Major Source of Persistent Organochlorines to Subalpine Bow Lake in Banff National Park, Canada*. [http://ambio.allenpress.com/periserv/?request=get-document&doi=10.1639/02F0044-7447\(2001\)030\[0410%3AMGAMSQ\]2.0.CO;3B23ct-1](http://ambio.allenpress.com/periserv/?request=get-document&doi=10.1639/02F0044-7447(2001)030[0410%3AMGAMSQ]2.0.CO;3B23ct-1)
- Bhannon, J. (2008). Weighing the climate risks of an untapped fossil fuel. *Science*, 319(5871), 1753
- Branan, N. (2008). *Chemicals melt out of glaciers*. [http://www.geotimes.org/aug08/article.html?id=nn\\_glaciers.html](http://www.geotimes.org/aug08/article.html?id=nn_glaciers.html) [Accessed 21 November 2008]
- Braun, M., Humbert, A. and Moll, A. (2008). Changes of Wilkins ice shelf over the past 15 years and inferences on its stability. *The Cryosphere Discussions* 2(3), 341–382
- Brovkin, V. and Claussen, M. (2008). Climate-Driven Ecosystem Succession in the Sahara: The Past 6000 Years. *Science*, 322: 1326 DOI: 10.1126/science.1163381 [Accessed 28 November 2008]
- Brown, S.J., Caesar, J. and Ferro, C.A.T. (2008). Global changes in extreme daily temperature since 1950. *Journal of Geophysical Research*, 113, D05115, doi:10.1029/2006JD008091
- Canadell, J.G. and Raupach, M.R. (2008). Managing forest for climate change mitigation. *Science*, 320(5882), 1456–1457
- Carlson, A.E., LeGrande, A.N., Oppo, D.W., Came, R.E., Schmidt, G.A., Anslow, F.S., Licciardi, J.M. and Obbink, E.A. (2008). Rapid early Holocene deglaciation of the Laurentide ice sheet. *Nature Geoscience*, 1(9), 620–624
- CDIAC (2008). Carbon Dioxide Information Analysis Center. <http://cdiac.orl.gov>
- Charbit, S., Paillard, D. and Ramstein, G. (2008). Amount of CO<sub>2</sub> emissions irreversibly leading to the total of melting of Greenland. *Geophysical Research Letter*, 35, L12503, doi:10.1029/2008GL033472
- Connor, S. (2008). Hundreds of methane 'plumes' discovered. *The Independent*, 25 September 2008.
- Cook, K.H. (2008). The mysteries of Sahel droughts. *Nature Geoscience*, 1(10), 647–648
- Cox, P.M., Harris, P.P., Huntingford, C., Betts, R.A., Collins, M., Jones, C.D., Jupp, T.E., Marengo, J.A. and Nobre, C.A. (2008). Increasing risk of Amazonian drought due to decreasing aerosol pollution. *Nature*, 453(7192), 212–215
- Das, S.B., Joughin, I., Behn, M.D., Howat, I.M., King, M.A., Kizralde, D. and Bhatia, M.P. (2008). Fracture propagation to the base of the Greenland ice sheet during supraglacial lake drainage. *Science*, 320(5877), 778–781
- Elsner, J.B., Kossin, J.P. and Jagger, T.H. (2008). The increasing intensity of the strongest tropical cyclones. *Nature*, 455(7209), 92–94
- ESA (2008). Wilkins Ice Shelf under threat. European Space Agency. [http://www.esa.int/esaCP/SEMXX65WVNF\\_index\\_1.html](http://www.esa.int/esaCP/SEMXX65WVNF_index_1.html) [Accessed 10 November 2008]
- Gauci, V., Dise, N.B., Howell, G. and Jenkins, M.E. (2008). Suppression of rice methane emission by sulfate deposition in simulated acid rain. *Journal of Geophysical Research*, 113, G00A07, doi:10.1029/2007JG000501
- Geisz, H.N., Dickhut, R.M., Cochran, M.A., Fraser, W.R. and Ducklow, H.W. (2008). Melting glaciers: a probable source of DDT to the Antarctic marine ecosystem. *Environmental Science and Technology*, 42(11), 3958–3962
- Gillet, N.P., Stone, D.A., Stott, P., Nozawa, T., Karpechko, A.Y., Hegerl, G.C., Wehner, M.F., and Jones, P.D. (2008). Attribution of polar warming to human influence. *Nature Geoscience*, 1, 750–754.
- Global Carbon Project (2008). *An annual update of the global carbon budget and trends. Carbon Budget 2007*. [http://www.globalcarbonproject.org/carbontrends/index\\_new.htm](http://www.globalcarbonproject.org/carbontrends/index_new.htm)
- Goelzer, H., Levermann, A., Rahmstorf, S. (2008). Long-term transient response of ENSO to climate change in a coupled model of intermediate complexity. *Geophysical Research Abstracts*, 10, 1607-7962
- Goodkin, N.F., Hughen, K.A., Doney, S.C. and Curry, W.B. (2008). Increased multidecadal variability of the North Atlantic Oscillation since 1781. *Nature Geoscience*, 1, 844–848 doi: 10.1038/ngeo352
- Graversen, R.G., Mauritsen, T., Tjernstrom, M., Kallen, E. and Svensson, G. (2008). Vertical structure of recent Arctic warming. *Nature*, 451(7174), 53–56
- Harris, P.P., Huntingford, C. and Cox, P.M. (2008). Amazon Basin climate under global warming: the role of sea surface temperature. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 363(1498), 1753–1759
- Holland, D.M., Thomas, R.H., de Young, B., Ribergaard, M.H. and Lyberth, B. (2008). Acceleration of Jakobshavn Isbræ triggered by warm subsurface ocean waters. *Nature Geoscience*, 1(10), 659–664
- IPCC (2007). *Climate Change 2007: The physical science basis: contribution of working group 1 to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, New York
- Ise, T., Dunn, A.L., Wofsy, S.C. and Moorcroft, P.R. (2008). High sensitivity of peat decomposition to climate change through water-table feedback. *Nature Geoscience*, doi: 10.1038/ngeo331
- Jevrejeva, S., Moore, J.C., Grinsted, A. and Woodworth, P.L. (2008). Recent global sea level acceleration started over 200 years ago? *Geophysical Research Letter*, 35, L08715, doi:10.1029/2008GL033611
- Joughin, I., Das, S.B., King, M.A., Smith, B.E., Howat, I.M. and Moon, T. (2008). Seasonal Speedup Along the Western Flank of the Greenland Ice Sheet. *Science*, 320(5877), 781–783
- Kay, J., l'Ecuyer, T., Gettelman, A., Stephens, G. and O'Dell, C. (2008). The contribution of cloud and radiation anomalies to the 2007 Arctic sea ice extent minimum. *Geophysical Research Letter*, 35, L08503, doi:10.1029/2008GL033451
- Keenlyside, N.S., Latif, M., Jungclauss, J., Kornblueh, L. and Roeckner, E. (2008). Advancing decadal-scale climate prediction in the North Atlantic sector. *Nature*, 453(7191), 84–87
- Khvorostyanov, D.V., Ciais, P., Krinner, G. and Zimov, S.A. (2008). Vulnerability of east Siberia's frozen carbon stores to future warming. *Geophysical Research Letter*, 35, L10703, doi:10.1029/2008GL033639
- Klein, R.J.T., Alam, M., Burton, I., Dougherty, W.W., Ebi, K.L., Fernandes, M., Huber-Lee, A., Rahman, A.A. and Swartz, C. (2008). Application of Environmentally Sound Technologies for Adaptation to Climate Change. Technical Paper FCCC/TP/2006/2, United Nations Framework Convention on Climate Change Secretariat, Bonn, Germany, 107 pp
- Knutson, T.R., Sirutis, J.J., Garner, S.T., Vecchi, G.A. and Held, I.M. (2008). Simulated reduction in Atlantic hurricane frequency under twenty-first century warming conditions. *Nature Geoscience*, 1(6), 359–364
- Kropelin, S., Verschuren, D., Lezine, A.-M., Eggemont, H., Cocquyt, C., Francus, P., Cazet, J.-P., Fagot, M., Rumes, B., Russel, J.M., Darius, F., Conley, D.J., Schuster, M., von Suchodoletz, H., and Engstrom, D.R. (2008). Climate-driven ecosystem succession in the Sahara: the past 6000 years. *Science*, 320(5877), 765–768
- KucharSKI, F., Yoo, J.H., Bracco, A. and Molteni, F. (2008). Atlantic forced component of the Indian monsoon inter-annual variability. *Geophysical Research Letter*, 35, L04706, doi:10.1029/2007GL033037
- Lawrence, D.M., Slater, A.G., Tomas, R.A., Holland, M.M. and Deser, C. (2008). Accelerated Arctic land warming and permafrost degradation during rapid sea ice loss. *Geophysical Research Letter*, 35, L11506, doi:10.1029/2008GL033985
- Lenderin, G. and van Meijgaard, E. (2008). Increase in hourly precipitation extremes beyond expectations from temperature changes. *Nature Geoscience*, 1(8), 511–514
- Lenton, T.M., Held, H., Kriegler, E., Hall, J.W., Lucht, W., Rahmstorf, S. and Schellnhuber, H.J. (2008). Tipping elements in the Earth's climate system. *Proceedings of National Academy of Sciences*, 105(6), 1786–1793
- Lozier, S. (2009). Overturning assumptions. *Nature Geoscience* 2, 12–14 [www.nature.com/naturegeoscience](http://www.nature.com/naturegeoscience) [Accessed 20 December 2008]
- Maihi, Y., Roberts, J.T., Betts, R.A., Killeen, T.J., Li, W. and Nobre, C.A. (2008). Climate Change, Deforestation, and the Fate of the Amazon. *Science*, 319(5860): 169–172 DOI:10.1126/science.1146961
- NESRC (2008). *No new ice minimum in the Arctic in 2008*. Nansen Environmental and Remote Sensing Center. [http://www.nersc.no/main/index2.php?display=moreinfo&news\\_id=237&displayNews=1](http://www.nersc.no/main/index2.php?display=moreinfo&news_id=237&displayNews=1)
- NSIDC (2008). *Arctic sea ice news and analysis*. National Snow and Ice Data Center. <http://nsidc.org/arcticseaicenews/>
- O'Coifagh, C.O. and Stokes, C.R. (2008). Reconstructing ice-sheet dynamics from subglacial sediments and landforms: introduction and overview. *Earth Surface Processes and Landforms*, 33(4), 495–502
- Perovich, D.K., Richter-Menge, J.A., Jones, K.F. and Light, B. (2008). Sunlight, water and ice: extreme Arctic sea ice melt during the summer of 2007. *Geophysical Research Letter*, 35, L11501, doi:10.1029/2008GL034007
- Pfeffer, W.T., Harper, J.T. and O'Neal, S. (2008). Kinematic constraints on glacier contributions to 21st century sea-level rise. *Science*, 321(5894), 1340–1343
- Piao, S., Ciais, P., Friedlingstein, P., Peylin, P., Reichstein, M., Luysaert, S., Margolis, H., Hanf, J., Barr, A., Chen, A., Grelle, A., Hollinger, D.Y., Laurila, T., Lindroth, A., Richardson, A.D. and Vesala, T. (2008). Net carbon dioxide losses of northern ecosystems in response to autumn warming. *Nature*, 451(7174), 49–53
- Ping, C.L., Michaelson, G.J., Jorgenson, M.T., Kimble, J.M., Epstein, H., Romanovsky, V.E. and Walker, D.A. (2008). High stocks of soil organic carbon in the North American Arctic region. *Nature Geoscience*, 1(9), 615–619
- Ramanathan, V. and Carmichael, G. (2008). Global and regional climate changes due to black carbon. *Nature Geoscience*, 1(4), 221–226
- Rigby, M., Prinn, R. G. Fraser, P. J., Simmonds, P. G., Langerfelds, R. L., Huang, J., Cunnold, D. M., Steele, L. P., Krummel, P. B., Weiss, R. F., O'Doherty, S., Salameh, P. K., Wang, H. J., Harth, C.M., Mühle, J. and Porter, L. W. (2008). Renewed growth of atmospheric methane. *Geophys. Res. Lett.*, 35, L22805, doi:10.1029/2008GL036037.
- Rignot, E., Bamber, J.L., van den Broek, M.R., Davis, C., Li, Y., van deBerg, W.J. and van Meijgaards, E. (2008). Recent Antarctic ice mass loss from radar interferometry and regional climate modeling. *Nature Geoscience*, 1(2), 106–110
- Ruckstuhl, C., Philipona, R., Behrens, K., Coen, M.C., Durr, B., Heimo, A., Matzler, C., Nyeki, S., Ohmura, A., Vuilleumier, L., Weller, M., Wehrli, C. and Zelenka, A. (2008). Aerosol and cloud effects on solar brightening and the recent rapid warming. *Geophysical Research Letter*, 35, L12708, doi:10.1029/2008GL034228
- Schellnhuber, H.J. (2008). Global warming: stop worrying, start panicking? *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(38), 14239–14240
- Schiemeier, Q. (2008). *Sea level rise: Linear or not?* Nature Online. [http://blogs.nature.com/news/blog/2008/04/sea\\_level\\_rise\\_linear\\_or\\_not.html](http://blogs.nature.com/news/blog/2008/04/sea_level_rise_linear_or_not.html)
- Schindler, D.W. and Parker, B.R. (2002). *Water Air Soil Pollution. Focus*, 2(3)79–397
- Schuur, E.A.G., Bockheim, J., Canadell, J.G., Euskirchen, E., Field, C.B., Goryachkin, S.V., Hagemann, S., Kuhry, P., Lafeur, P.M., Lee, H., Mazhitova, G., Nelson, F.E., Rinke, A., Romanovsky, V.E., Shiklomanov, N., Tarnocai, C., Venevsky, S., Vohé, J.G. and Zimov, S.A. (2008). Vulnerability of permafrost carbon to climate change: implications for the global carbon cycle. *Bioscience*, 58(8), 701–714
- Semenov, V.A. (2008). Influence of the oceanic inflow to the Barents Sea on Arctic climate variability. *Doklady Earth Sciences*, 418(1), 91–94
- Semiletov, I. (2008). *International Siberian Shelf Study 2008*. International Arctic Research Center, ISS08-Update, 15 September 2008. <http://www.iarc.uaf.edu/expeditions/?cat=8>
- Shaw, J. (2002). The meltwater hypothesis for subglacial bedforms. *Quaternary International* 90 (2002) 5–22
- Smith, L.A. (2008). *Climate modelling is still an abstraction of reality*. The uncertainty in climate modelling: In Roundtable discussion. Bulletin of Atomic Sciences. <http://www.thebulletin.org/web-edition/roundtables/the-uncertainty-climate-modeling>
- Sobel, A.H., Maloney, E.D., Bellon, G. and Frierson, D.M. (2008). The role of surface heat fluxes in tropical intraseasonal oscillations. *Nature Geoscience*, 1(10), 653–656
- Stammer, D. (2008). Response of the global ocean to Greenland and Antarctic ice melting. *Journal of Geophysical Research*, 113, C06022, doi:10.1029/2006JC004079
- Stone, R.S., Anderson, G.P., Shettle, E.P., Andrews, E., Loukachine, K., Dutton, E.G., Schaaf, C. and Roman III, M.O. (2008). Radiative impact of boreal smoke in the Arctic: Observed and modelled. *Journal of Geophysical Research*, 113, D14S16, doi:10.1029/2007JD009657
- Subramanian, A., Yager, P.L., Carpenter, E.J., Mahaffey, C., Bjorn, K., Cooley, S., Kustka, A.B., Montoya, J.P., Sanudo-Wilhelmy, S.A., Shipe, R. and Capone, D.G. (2008). Amazon River enhances diazotrophy and carbon sequestration in the tropical North Atlantic Ocean. *Proceedings of National Academy of Sciences*, 105(30), 10460–10465
- Thompson, A. (2007). Carbon Consumers: Bacteria cause net CO<sub>2</sub> uptake in the Amazon River plume. *Nature Geoscience*, 5, 86–87
- Toggweiler, J.R. and Russell, J. (2008). Ocean circulation in a warming world. *Nature*, 451, 286–288 doi:10.1038/nature06590
- UN-HABITAT (2008). *State of the World's Cities 2008/9: Harmonious Cities*. London, Earthscan
- Våge, K., Pickart, R.S., Thierry, V., Reverdin, G., Lee, C.M., Petrie, B., Agnew, T.A., Wong, A. and Ribergaard, M.H. (2008). Surprising return of deep convection to the subpolar North Atlantic Ocean in winter 2007–08. *Nature Geoscience*, 2, 67–72 doi:10.1038/Ngeo382
- Van de Wal, R.S.W., Boot, W., van den Broeke, M.R., Smeets, C.J.P.P., Fleijmer, C.H., Donker, J.J.A. and Oerlemans, J. (2008). Large and rapid melt-induced velocity changes in the ablation zone of the Greenland ice sheet. *Science*, 321(5885), 1111–1113
- Van Oldenborgh, G.J., Drijfhout, S., van Ulden, A., Haarsma, R., Steri, A., Severijns, C., Hazeleger, W. and Dijkstra, H. (2008). Western Europe is warming much faster than expected. *Climate of the Past Discussions*, 4(4), 897–928
- WGMS (2008a). *Global glacier changes: facts and figures*. UNEP/World Glacier Monitoring Service, Zurich
- WGMS (2008b). *Glacier mass balance data 2005–2006*. UNEP/World Glacier Monitoring Service, Zurich. <http://www.geo.unizh.ch/wgms/mbb/mbb9/sun06.html>

# Désastres et conflits

Ces dernières décennies, la menace croissante du changement climatique s'est démontrée par le nombre et la sévérité des orages, des inondations et des sécheresses, qui a subi une augmentation significative alors que le nombre moyen de tremblements de terres, aussi dévastateurs soient-ils, est resté constant. Les nouveaux conflits et ceux en cours peuvent être à la fois l'origine et la conséquence d'une dégradation de l'environnement.



A Eldoret, au Kenya, deux enfants côte à côte tandis que d'importantes pluies arrosent un abri provisoire regroupant quelque 19 000 personnes déplacées par des violences postélectorales. Source : Reuters/Georgina Cranston

## INTRODUCTION

L'année 2008 a été marquée par des images de violence et de destruction émanant de conflits électoraux, d'émeutes de la faim, de guerres permanentes et de conflits internes, mais aussi de violents ouragans, de brutales inondations, d'impitoyables sécheresses et de terribles tremblements de terre. La population croissante, les ressources qui s'épuisent, le spectre grandissant d'un changement climatique radical, les crises financières mondiales et l'instabilité politique récurrente dans de nombreuses régions rendent un nombre

considérable de personnes plus vulnérables aux chocs physiques, aux crises politiques et économiques, ainsi qu'aux conflits armés.

Les catastrophes naturelles telles que les tremblements de terre, les cyclones tropicaux et les sécheresses peuvent se révéler dévastatrices pour les hommes et les infrastructures cruciales. Il ne faut cependant pas oublier que la nature elle-même peut aussi être victime d'une catastrophe naturelle : les destructions de l'environnement résultent directement des dommages causés aux systèmes naturels et indirectement des

dommages occasionnés par des accidents, tels que les marées noires, les déversements d'eaux usées et autres défaillances techniques. Par la suite, les dégâts consécutifs peuvent s'étendre à une exploitation accrue des ressources par les populations déplacées ou différemment touchées et à une réaffectation de l'assistance à l'encontre de la protection de l'environnement, le tout au nom de l'urgence (WRI, 2003).

Il semblerait toutefois, vu la multiplication des preuves, que les programmes de prévention et de préparation aux catastrophes soient efficaces. Une solide gestion, le

### Encadré 1 : Insécurité et conséquences pour l'environnement

Le gorille de plaine orientale (*Gorilla beringei graueri*) et le gorille de montagne (*Gorilla beringei beringei*), deux espèces menacées, sont mis à rude épreuve dans les provinces orientales de la RDC (République démocratique du Congo). En effet, la région est baignée dans les guerres de ressources depuis des décennies. Dans cette région, les ressources convoitées vont du charbon de bois pour satisfaire la demande constante des voisins rwandais, où la production de charbon de bois est interdite pour des motifs écologiques, à l'extraction de columbite-tantalite ou de coltan, un minéral rare essentiel pour la fabrication de la majorité de l'électronique moderne.

Situé dans une région abritant la plus grande diversité d'espèces vertébrées du continent, le parc national de Virunga est le plus ancien d'Afrique. En septembre 2007, des rebelles armés ont occupé le secteur du parc réservé aux gorilles, contraignant les gardes à abandonner leurs activités de conservation dans ce secteur. Puis, en septembre 2008, les gardes ont été forcés d'abandonner le reste du parc après l'envahissement par les forces rebelles de leur quartier général, basé à Rumangabo et depuis lequel les opérations de conservation étaient gérées. Finalement, fin novembre, ils ont été autorisés à regagner le parc et à revenir dans le secteur des gorilles.

Le secteur des gorilles de Virunga couvre des collines boisées à la frontière de la RDC avec l'Ouganda et le Rwanda et il héberge environ 200 des 700 derniers gorilles de montagne de la planète. A leur retour, la première tâche des gardes a été d'entreprendre un recensement des gorilles de montagne long d'un mois pour actualiser les informations collectées pour la dernière fois en août 2007. Les premiers rapports font état de cinq gorilles femelles qui allaitaient des bébés, certainement un signe d'espoir ténu pour un effort de conservation parfois sombre et souvent décourageant.

Plus de 150 gardes ont été tués dans l'est de la RDC en dix ans d'un conflit qui a coûté plus de 5 millions de vies suite aux violences, à la faim et la maladie, soit plus que n'importe quel conflit depuis la Deuxième Guerre mondiale.

Source : Maguwu, 2008 ; Holland, 2008 ; Mongabay, 2008

travail de proximité et les efforts de préparation concertés peuvent permettre d'éviter les destructions massives caractéristiques des catastrophes naturelles du 20e siècle. Ces systèmes de gestion vont de paire avec un choix correct des sites et des codes de sécurité adéquats pour les projets de développement mais également avec la restauration d'écosystèmes protecteurs, tels que les mangroves côtières permettant de lutter contre les ondes de tempête et les cultures à flanc de coteau qui aident à contrôler l'érosion. Il est désormais évident qu'un manque de prévention et de préparation aux catastrophes, ainsi qu'une réaction limitée peuvent intensifier les dégâts causés en arrière-plan, ainsi que le déplacement et le découragement à long terme des populations touchées même dans les pays les plus développés.

Les conflits armés entravent davantage la prévention, mais ici encore, les éléments concordent pour indiquer que des mesures relativement simples peuvent

considérablement réduire la probabilité et la sévérité des événements dévastateurs. Chaque désastre et chaque conflit sert de leçon pour qui veut sauver des vies, des sites et des établissements humains à l'avenir. Certains de ces enseignements, pris comme inspiration ou récits édifiants, ne produiront leurs effets que dans plusieurs années. Néanmoins, nombreux sont ceux qui peuvent être appliqués et appréciés aujourd'hui.

### DESASTRES, CONFLITS, ENVIRONNEMENT—2008

L'année a débuté avec une élection controversée au Kenya qui a ensuite donné lieu à de violents affrontements. Le pays où se trouve le siège du Programme des Nations Unies pour les établissements humains (ONU-Habitat) et celui du Programme des Nations Unies pour l'environnement a sombré dans le chaos en raison de massacres interethniques, d'agressions sexuelles et de mutilations. Selon les estimations, le nombre de morts s'élève à 1 200 tandis qu'au moins 300 000 victimes, principalement des femmes, des enfants et des personnes âgées, ont trouvé refuge dans des camps temporaires car leurs maisons situées dans des zones rurales ou des bidonvilles ont été détruites et leur vie menacée.

Par ailleurs, diverses initiatives de conservation locales ont été endommagées voire détruites, comme souvent lorsque l'ordre social s'effondre. Les forêts au sud et au nord de Nandi et certaines parties de l'écosystème de Cherengany ont été les régions les plus touchées.

Certaines des zones reboisées ont été brûlées et des stations forestières sont parties en fumée forçant ainsi le personnel s'y trouvant à quitter l'endroit. Dans le cadre d'un projet financé par le gouvernement finlandais, un inventaire précis des dégâts a été initié par le WWF, le Groupe de travail des forêts kenyanes, Nature Kenya, l'UICN, le Réseau d'action forestière et le Service forestier du Kenya. Il devra déboucher sur un programme de consolidation de la paix et un volet de redressement.

Au Zimbabwe, la dégradation continue des conditions de vie de la société civile a entraîné une augmentation du braconnage et de la déforestation pour le pétrole. Les conséquences environnementales des troubles politiques sont restées significatives tout au long de l'année, et ce principalement dans la région est de la République démocratique du Congo (FEWS, 2008 ; Bird et Prowse, 2008) (Encadré 1).

### Nouvel an chinois

Fin janvier, début février 2008, une série d'importantes chutes de neige, de grésil et de tempêtes de verglas a frappé une large partie de la Chine, à l'ouest du Sichuan depuis la province de l'Anhui au centre est jusqu'à la province du Guangdong au sud (Stone, 2008a) (Figure 1). Parmi les régions chinoises touchées se trouvaient de nombreuses forêts naturelles encore existantes ; d'immenses réserves telles que la réserve naturelle nationale de Nanling dans la province du Guangdong de 58 000 hectares ont été sévèrement

Figure 1 : La tempête du Nouvel an chinois couvre une vaste zone



Un froid inhabituel, de fortes chutes de neige et de grésil et du verglas ont touché un minimum de 19 provinces chinoises en janvier et février 2008, dans ce qui fut l'une des pires tempêtes hivernales de l'histoire des provinces centrales, orientales et méridionales de la Chine.

Source : Márton Bálint et Jason Jabbour/ UNEP ; adapté de IFRC, 2008

affectées par les "tempêtes du nouvel an chinois". Au total, d'après l'Administration d'Etat des forêts de Chine, non moins de 20,86 millions d'hectares de forêts ont été ravagés par les tempêtes. Ce chiffre représente un dixième de la superficie globale des forêts et des propriétés forestières de production.

Le coût économique de cette catastrophe est estimé à plus de 21 milliards de dollars. Cent vingt mille personnes ont péri à la suite de ces tempêtes, 1,7 million de personnes supplémentaires ont été déplacées, et 8,6 millions de chinois sont restés coincés après l'interruption d'une partie du système de transport. Des millions d'autres habitants ont également souffert de ruptures d'alimentation en combustible et en énergie pendant plusieurs semaines après le phénomène. Il est difficile d'évaluer les dégâts environnementaux, mais il semblerait que la superficie de la zone sinistrée soit équivalente à celle de la zone reboisée dans le cadre du plan national de reforestation entre 2003 et 2006. Les premières estimations ont signalé que les espèces introduites, telles que le pin des Antilles du sud des Etats-Unis et l'arbre à gomme d'Australie, ont davantage souffert que les arbres indigènes, même si ces derniers ont également été sévèrement touchés. En outre, ces tempêtes dévastatrices sont arrivées juste au moment où la Chine tentait de lutter contre l'exploitation clandestine des forêts et de mettre en place un système de contrôle et de conservation à grande échelle (Stone, 2008a).

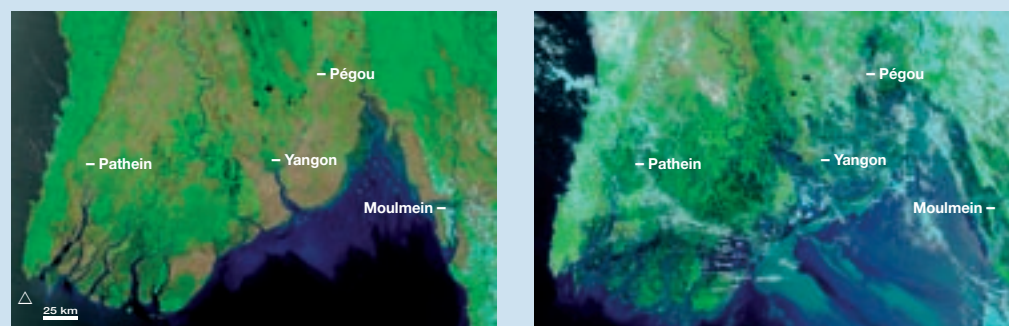
### Saison cyclonique

Le 2 mai, le cyclone Nargis a heurté les côtes du Myanmar alors qu'il avait atteint son intensité maximale ; la vitesse du vent a été enregistrée à 215 km/h. Pendant plusieurs semaines après le désastre, de nombreux organismes d'aide ont éprouvé d'énormes difficultés à atteindre les victimes. 140 000 personnes ont été tuées ou portées disparues pendant la tempête et non moins de 2,4 millions d'habitants ont été sérieusement touchés ou se sont retrouvés sans abri du jour au lendemain (Stover et Vinck, 2008). Il semblerait que la majeure partie des milliers de personnes qui ont péri lorsque le cyclone Nargis a touché les côtes se soient noyées dans une onde de tempête de 3,5 mètres de haut sur une quarantaine de kilomètres à l'intérieur des terres (OCHA, 2008a) (**Figure 2**).

Les populations côtières du Myanmar se sont fortement étendues ces dernières décennies car les cultivateurs étaient à la recherche de terres fertiles et d'espaces pour la pisciculture. A l'instar des autres régions tropicales, ce développement côtier a attisé le phénomène de déforestation extensive des mangroves. Comme c'était le cas en 2004 après le tsunami, la perte de la bordure d'arbres de protection est une conséquence grave du passage du cyclone Nargis (FAO, 2008).

Au début du 20<sup>e</sup> siècle, plus de 242 811 hectares de

**Figure 2 : L'érosion du delta de l'Irrawaddy**



Images satellites de la côte du Myanmar le 15 avril 2008 (gauche) avant le passage du cyclone Nargis et le 5 mai 2008 (droite) après que Nargis ait frappé la région, montrant la dévastation causée par les inondations sur la plaine littorale. Source : NASA/ MODIS Rapid Response Team

forêts de mangrove étaient recensés dans le delta du fleuve Irrawaddy. A la fin du siècle, il ne restait plus que 48 562 hectares. La principale cause de cette perte est l'explosion de l'industrie du charbon dans les années 1970 ; la demande en combustible des villes a alors induit une rapide dégradation des forêts nationales. Dans les 1990, l'expansion des terres agricoles et l'arrivée de la crevetteculture ont empiété sur les forêts de mangrove (IRIN, 2008a). D'après un rapport d'évaluation, le désastre serait à l'origine de la disparition de 16 800 hectares de forêts de mangrove naturelles et la dégradation d'environ 21 000 hectares de forêts de plantation (PONJA, 2008).

Cette perte supplémentaire de forêts de mangrove et d'écosystèmes liés aura un impact incontestable sur les populations rurales dont les moyens d'existence dépendent des forêts. Les revenus directs ou indirects d'un grand nombre d'artisans, de pêcheurs, d'exploitants agricoles de régions défavorisées et de personnes démunies sans terres dépendent des forêts avoisinantes (IRIN, 2008b). En outre, de nombreuses microentreprises tournent autour du delta. Elles représentent généralement des activités de subsistance facilement accessibles pour les familles pauvres et sont parfois dirigées par des femmes (PONJA, 2008).

Le secteur de la production de sel à petite échelle qui occupe la partie inférieure du delta a également été détruit par la tempête et son onde surpuissante. Selon les estimations, 35 000 exploitations, principalement privées, ont été touchées, ôtant ainsi leur moyen d'existence à des milliers de personnes. Plus de 9 712 hectares, soit 80 % des marais salants du delta ont été abîmés. La tempête a aussi emporté des entrepôts dans lesquels 24 000 tonnes de sel fraîchement récolté étaient stockées (IRIN, 2008c).

Soulignons également qu'environ 20 000 paludiers et leur famille vivaient dans le delta au moment du

drame. D'après certains calculs, 8 paludiers sur 10 auraient péri dans la tempête, laissant leur famille seule à la recherche d'un moyen d'existence alternatif (IRIN, 2008d ; PONJA, 2008).

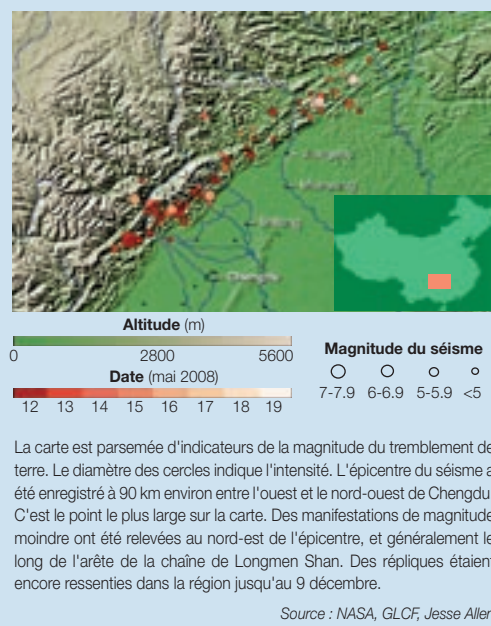
### La Terre se déchire

Le 12 mai 2008, le substratum rocheux situé sous la province du Sichuan en Chine s'est violemment déchiré sur 300 km. Tout a commencé à 14h28 heure locale lorsque l'énergie sismique accumulée a été libérée à travers une faille localisée entre le plateau Qinghai-Tibet plateau et le bassin du Sichuan (USGS, 2008). La rupture en elle-même a duré à peine 120 secondes, mais les cicatrices du tremblement de terre de magnitude 8 consécutif seront encore visibles «pendant» de nombreuses années.

En effet, les résultats sont lourds : 87 000 personnes tuées ou portées disparues, plus de 350 000 blessés, 5 millions de sans abri, 15 millions de personnes évacuées de la région et un coût direct évalué à 73 milliards de dollars minimum (Xinhua, 2008a). Plus de cinq millions de bâtiments se sont écroulés, dont 7 000 écoles, et 21 millions ont subi des dégâts critiques, non seulement dans la province du Sichuan mais également dans les provinces du Chongqing, du Gansu, du Hubei, du Shaanxi et du Yunnan. Plusieurs villes et villages ont presque été réduits à néant, notamment Beichuan, Dujiangyan, Wuolong et Yingxiu. Le centre du séisme, l'endroit où l'intensité est maximale, se trouvait sur la région du Wenchuan mais sa puissance était telle qu'il a été ressenti sur la majeure partie du territoire chinois, et au Bangladesh, en Thaïlande et au Vietnam (USGS, 2008).

En réalité, ce cataclysme a eu lieu dans l'une des régions sismiques les plus actives d'Asie. Ce phénomène a été causé par une rupture profonde à environ 19 kilomètres sous la surface de la Terre et dont le centre se situait à 90 kilomètres au nord-ouest de Chengdu, la

Figure 3 : Secousse et répliques



capitale de la province du Sichuan et un important centre de communications et de transports (Burchfiel et alii, 2008 ; USGS, 2008).

La ville de Chengdu a été relativement épargnée mais nombreux sont les villages et les régions rurales qui n'ont pas été aussi chanceux. Une série de violentes répliques sismiques dévastatrices ont directement suivi le séisme, ce qui a rendu les efforts de secours plus compliqués et n'a fait qu'accroître les tensions et les inquiétudes ressenties par la population locale. Le 27 mai, deux puissantes répliques ont détruit 420 000 habitations supplémentaires dans le xian du Qingchuan de la province du Sichuan. La combinaison de répliques incessantes et de la présence de roches instables et d'un terrain très abrupt dans la région représentait un danger supplémentaire pour les sauveteurs et la population (MCEER, 2008) (Figure 3).

Au-delà des dégâts directs causés par les secousses, les glissements de terrain ont bloqué les routes, les chutes de blocs rocheux et de débris ont entravé les efforts de secours, et des fleuves et des rivières ont été obstrués dans toute la région. Plusieurs "lacs sismiques" ont alors été formés ; ils ont ensuite rempli des réservoirs le long d'importantes voies d'eau comme le fleuve Qing ou le fleuve Jiang (Stone, 2008b ; NASA, 2008a).

Plus de 30 lacs temporaires ont fait leur apparition derrière ces barrages en terre instables et ont inondé les régions en amont. Cependant, les zones en aval sont également menacées d'être submergées en cas de rupture soudaine de ces barrages. Le plus grand réservoir

du Jiang, le lac de Tangjiashan, menace 1,3 million de personnes en aval, depuis la ville de Beichuan, située juste en dessous, jusqu'à celle de Mianyang, 100 kilomètres plus bas (NASA, 2008a). Au début du mois de juin, l'armée a commencé à creuser un canal de drainage dans la partie supérieure du barrage et, le 9 juin, a utilisé des explosifs afin de l'élargir, ce qui a permis de commencer à vider une partie du lac (Xinhua, 2008b) (Encadré 2).

Les montagnes de Hengduan, situées dans l'ouest de la province du Sichuan et dont la superficie atteint 70 millions d'hectares, ont été touchées à la fois par les tempêtes du printemps et par le séisme du Wenchuan (Morell, 2008). De nombreuses mesures ont été mises en œuvre afin de contrôler le surpâturage des surfaces en prairie et de protéger, reboiser et rétablir les forêts de l'ouest de la Chine. Cela a pour objectif d'aider à contrôler l'érosion et les glissements de terrain qui se sont révélés mortels après le séisme du Wenchuan (Xin, 2008). Quelques années auparavant, la région a également été victime d'importantes inondations du Chang Jiang ou du Yangtze attribuées à la déforestation de la ligne de partage des eaux environnante. Le gouvernement du Sichuan a interdit l'abattage des forêts naturelles après les inondations du Yangtze en 1998 afin d'éviter toute catastrophe à l'avenir. Le gouvernement chinois, quant à lui, a pris des mesures en matière de préservation des forêts et de reboisement peu après. En 2008, la Chine a décidé de prévoir, au niveau national, la plantation de 2,5 milliards d'arbres (Morell, 2008).

### Ouragans dévastateurs

Pendant quatre semaines, entre mi-août et mi-septembre, les Caraïbes orientales ont été balayées par la tempête tropicale Fay et ensuite par trois ouragans aux effets dévastateurs, Gustav, Hanna et Ike. Cependant, Haïti est la région ayant le plus souffert. L'île, considérée comme le pays le moins développé d'Amérique, est victime d'une déforestation massive causée par des années de pauvreté et d'instabilité sociale, et une succession de périodes de chaos relatif. Cette année, la déforestation combinée à une perpétuelle surexploitation des flancs de montagne abruptes a rendu les pentes hautement instables et a causé des glissements de terrain pendant les pluies intenses. Au cours de cette saison d'ouragans particulièrement violente, la ville des Gonaïves a été extrêmement touchée mais son accès par les secours a été ralenti par les tempêtes incessantes et la destruction de certains ponts (OCHA, 2008b).

Les ouragans Gustav et Ike ont également frappé Cuba, le pays voisin, avec une force considérable. Les vents de l'ouragan Gustav avaient atteint la catégorie 4, soit une vitesse approximative de 240 kilomètres par heure, lorsqu'il a atterri au sud-ouest de Cuba à la fin

Encadré 2 : Drainage d'un lac post-séisme



Source : Liu Jin/ Agence France-Presse - Getty Images

Haut : une vue de Beichuan, ville endommagée par le tremblement de terre du 12 mai. Bas : la même vue le 10 juin, après l'inondation de certains quartiers de la ville endommagée suite à une opération de drainage contrôlée.

du mois d'août. Les vents de l'ouragan Ike avaient quant à eux une vitesse de 193 kilomètres par heure en atteignant la province de Holguín, à l'est de Cuba, à peine une semaine plus tard. Ces deux tempêtes ont laissé derrière elles plus de 100 000 bâtiments endommagés et plus de 200 000 personnes sans abri, sans compter les 250 000 personnes forcées d'évacuer les régions les plus menacées (NASA, 2008b). La Havane, la capitale, et d'importantes infrastructures, dont des centres touristiques, des installations pétrolières et des exploitations de nickel, ont été relativement épargnées mais les dégâts causés aux habitations, à l'agriculture et au réseau électrique sont estimés à 5 milliards de dollars (OCHA, 2008b).

La saison d'ouragans 2008 a permis de tester la préparation aux désastres aux Caraïbes. Pendant ces quatre semaines, près de 800 personnes ont perdu la vie, au moins 2,8 millions d'individus ont été touchés et plus de 600 000 habitations ont été endommagées voire détruites (OCHA, 2008b).

La résilience des systèmes naturel et socio-économique est essentielle pour atténuer un désastre et s'en remettre. Il est ironique de constater que la tempête la plus meurtrière a été Hanna, l'une des plus faibles. Elle a en effet atteint Haïti alors que les plaies du passage de Fay et Gustav étaient encore ouvertes (OCHA, 2008b).





Une vue aérienne d'habitations dans les Gonaïves, dévastées par les inondations de l'ouragan Hanna le 3 septembre 2008.

Source : Marco Dormina/ UN Photo

A première vue, il semblerait que les écosystèmes indemnes et le gouvernement fonctionnel de Cuba aient permis d'éviter le chaos et les pertes vécus à Haïti.

### ERREURS HUMAINES ET PREVENTION DES DESASTRES

Si la force destructrice des ouragans ayant touché Haïti a été magnifiée par la pauvreté, la dégradation de l'environnement et le manque d'infrastructures, l'impact du cyclone Nargis a été aggravé par un avertissement défaillant et une réponse inappropriée. Notamment en raison de la sous-évaluation de la menace par le gouvernement et le temps mis pour accepter l'aide internationale au lendemain de la catastrophe, Nargis est la catastrophe naturelle la plus destructrice de l'année 2008 (Stover et Vinck, 2008 ; OCHA, 2008a ; Webster, 2008). L'effet sur les récoltes rizicoles hivernales, pilier de l'économie et de l'alimentation dans ce pays, a été ravageur. Le Myanmar est habituellement un exportateur net de riz. De surcroît, cette perte a eu lieu pendant une année dominée par une pénurie de riz et autres produits de base. Alors que la majeure partie des terres inondées retrouvera sa fertilité, aidée par l'apport conséquent en eau, au moins 200 000 hectares sont devenus impropres à la culture pendant la saison de la mousson 2008 (IRIN, 2008b).

Des programmes de planification, de réponse et de renfort de la résilience performants reposent sur des prévisions efficaces d'événements défavorables tels que les cyclones tropicaux, les tempêtes d'hiver et les périodes prolongées de sécheresse ou d'inondations. Des avancées significatives en matière de prévision et repérage des tempêtes et des cyclones tropicaux ont été réalisées. De plus, les principales régions cycloniques sont désormais couvertes par les services de prévision de l'Organisation météorologique mondiale. Cependant,

comme le prouve le désastre causé par le cyclone Nargis et les ouragans et tempêtes aux Caraïbes, une atténuation des dégâts au sol est absolument nécessaire juste après la première prévision. D'après les analystes des désastres causés par les tempêtes, trois points doivent être améliorés en termes de prévision des tempêtes tropicales et de l'efficacité des alertes dans les régions en développement : obtenir des prévisions à plus long terme (afin de ménager plus de temps de réponse), inclure les prévisions d'ondes de tempête et développer des plans catastrophes complets et solides (Webster, 2008).

Les populations les plus vulnérables de l'océan Indien Nord vivent le long de deltas fluviaux et sur de basses terres côtières disposant d'un accès limité aux réseaux de communication et de transport (O'Hare, 2008) (**Encadré 3**). Le délai de trois jours nécessaire pour évaluer la trajectoire et l'intensité d'un cyclone est probablement suffisant pour organiser une réponse complexe à grande échelle dans les régions développées, comme ce fut le cas lors de l'évacuation des régions côtières de Cuba. Cependant, ce n'est sans doute plus le cas dans les zones rurales en développement en raison de l'accès limité aux télécommunications et du fait que la population se déplace principalement à pied et emmène bétail, nourriture et biens (Webster, 2008).

### Juste et au bon moment

Ces dernières années, plusieurs études ont démontré que les cyclones tropicaux pourraient s'intensifier à cause du changement climatique (Emanuel, 2005 ; Webster et alii, 2005 ; Elsner et alii, 2008) (voir Changement climatique, chapitre 3). Même si le sujet reste controversé, les conditions de l'océan Indien Nord semblent à même de générer de puissants cyclones destructeurs. Tous les paramètres sont principalement rassemblés juste avant et après la moisson en Asie du

### Encadré 3 : La population la plus vulnérable

Les populations les plus pauvres et les plus vulnérables d'une région sont généralement les personnes qui souffrent le plus des cyclones. Une étude menée en 2008, après le passage de la tempête tropicale Noël en République dominicaine, sur les effets des catastrophes naturelles sur les populations vulnérables a révélé que le niveau de pauvreté d'un ménage affecte sa capacité à se préparer et à réagir à une catastrophe naturelle. Ce rapport est également avéré dans les pays développés. Plus d'un millier de personnes, majoritairement pauvres, ont péri lorsque l'ouragan Katrina a frappé la Nouvelle-Orléans et le golfe du Mexique en 2005, malgré une alerte diffusée plusieurs jours auparavant quant au passage de l'ouragan à proximité de la ville.

Parmi les populations vulnérables, on trouve les pauvres, les enfants, les femmes, les personnes âgées, les handicapés et les personnes séropositives et porteuses du VIH. Les autres facteurs aggravant la vulnérabilité sont notamment le faible niveau technologique, le manque d'informations ou de compétences nécessaires, l'accès limité ou l'absence d'accès aux infrastructures de transport, de communication et de santé et des institutions politiques instables ou déficientes. Globalement, l'absence de ressources et d'assistance extérieure rend ces populations incapables d'anticiper, de se préparer ou de se protéger pleinement des catastrophes.

Qu'ils soient chassés par les inondations ou par les combats, les déplacés doivent souvent faire face aux séparations familiales et à la disparition de membres de leur famille, à la perte de leurs habitations et de leurs biens ainsi qu'à la violence, aux blessures, au traumatisme émotionnel et à la dépression. Face à la catastrophe, ce sont les éléments les plus faibles d'une population qui souffrent le plus. Par exemple, globalement, pour chaque homme adulte qui périt noyé lors d'inondations catastrophiques, ce sont trois à quatre femmes qui meurent.

Sources : Ferris, 2008 ; Huq, 2008 ; O'Hare, 2008 ; UN-INSTRAW, 2008



Face à l'approche du cyclone Sidr en 2007, des centaines de milliers de Bangladais ont été évacués et un grand nombre d'entre eux se sont réfugiés dans des abris d'urgence comme celui-ci près du port de Mongla, à environ 320 km au sud de Dacca.

Source : Farjana Khan Godhul/ AFP

Sud, généralement entre avril-mai et octobre-novembre, lors de la rencontre des eaux chaudes de surface et la zone basse de cisaillement vertical du vent.

Rétrospectivement, ces cyclones tropicaux surpuissants n'ont pas souvent atteint les pays bordant l'océan Indien Nord. Cependant, ces dernières années sont l'exception. En effet, quatre cyclones de ce type se sont formés dans cette partie du monde depuis 2006 alors qu'il n'y en

avait eu que huit du même ordre en 25 ans. Toutefois, les données sont insuffisantes pour permettre de déterminer si cela représente une tendance du moment ou une anomalie sévère (Webster et alii, 2005 ; Webster, 2008). Mais cela n'a pas réellement d'importance étant donné que d'autres bassins cycloniques présentent le même phénomène. Ces régions ne seront que davantage vulnérables aux tempêtes à l'avenir, même sans augmentation de la fréquence ou de l'intensité, vu notamment la croissance de la population dans les régions côtières sensibles (O'Hare, 2008).

Le Bangladesh est considéré comme l'une des zones les plus vulnérables de la région aux effets probables du changement climatique comme la hausse du niveau des mers, l'augmentation des inondations et l'intensification des tempêtes. En septembre, le pays a annoncé la mise sur pied d'un plan d'action global visant à répondre au changement climatique au cours des dix ans à venir (Antony, 2008). Le Bangladesh, où sont situés trois immenses deltas avec une population dense ouverts sur le golfe du Bengale, est d'ores et déjà un exemple en matière d'efforts de remise en état après un cyclone. Quelques 300 000 personnes ont été tuées par le cyclone Bhola en 1970, et au moins 138 000 pendant le cyclone de 1991, dont 80 % étaient des femmes et des jeunes filles (Ikeda, 1995). Après le passage du cyclone Sidr en novembre 2007, dont la tempête et les glissements de terrain étaient similaires à ceux de 1970, seules 3 500 vies ont été emportées (AlertNet, 2007).

Ensuite, un réseau national d'urgence a été créé dans le cadre d'un plan catastrophe national. Ce dernier comprend des abris en cas de tempête, des digues côtières et un système d'alerte par radio et téléphone portable. Les prévisions cycloniques et d'ondes de tempêtes à rayon d'action étendu effectuées par l'Université de l'Etat de Louisiane aux Etats-Unis, les prévisions de trajectoire et d'intensité des tempêtes du Département indien de météorologie, et les réseaux développés ont permis aux autorités du Bangladesh de surveiller le bon déroulement de l'évacuation des quelques 2 millions de personnes pendant le passage du Sidr (AlertNet, 2007 ; Webster, 2008).

### Se préparer aux tremblements de terre

Les tremblements de terre ont tendance à toujours toucher les mêmes régions. Même si les zones probables d'apparition de séismes ravageurs peuvent être déterminées avec une précision étonnante le long du réseau terrestre de failles sismiques, le moment exact où ils feront leur apparition reste extrêmement difficile à anticiper. Les améliorations en termes de prévisions météorologiques et cycloniques ont énormément contribué à atténuer les désastres ces dernières années. Est-on en droit d'espérer que de tels progrès permettront un jour de réduire les dommages physiques et les pertes



Alors que le cyclone Sidr glissait vers le nord dans le golfe du Bengale, plus de 40 000 bénévoles de la Croix-Rouge et du Croissant-Rouge annonçaient la nécessité d'une évacuation.

Source : International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies

humaines dus aux tremblements de terre également ?

La réponse est incertaine et dépend largement des échelles de temps prises en considération. Dans un avenir proche, il semble impossible de pouvoir prévoir un tremblement de terre avec une précision en heure, voire en jour. Des délais aussi longs ne sont toutefois peut-être pas indispensables pour que les alertes aient une incidence positive importante, et après des décennies d'efforts certains signes encourageants apparaissent. Les tremblements de terre ont probablement été les désastres les plus meurtriers du siècle précédent. Gagner ne serait-ce que quelques secondes pourrait contribuer à réduire à l'avenir le nombre de morts (Malone, 2008). Au Japon, un système d'alerte précoce utilisant des signaux électroniques instantanés se déplaçant plus vite que le tremblement de terre lui-même a été lancé en 2007. Ces signaux sont déclenchés par un réseau de sismographes pour ralentir les trains, arrêter les ascenseurs et avertir la population civile de l'imminence d'un séisme (JMA, 2008).

Si les efforts de recherche visant à prédire les tremblements de terre se sont multipliés ces 15 dernières années, l'objectif d'alerte anticipée reste difficile à atteindre (Panakkat et Adeli, 2008). Plusieurs perfectionnements récents permettent de déduire l'évolution du risque de tremblements de terre futurs à partir de l'analyse de tremblements de terre antérieurs. De nombreux groupes ont d'ores et déjà effectué de telles analyses pour le bassin du Sichuan et ses alentours.

S'appuyant sur des modèles informatiques de la contrainte à l'œuvre sur les failles dans la région entourant la rupture de Wenchuan, une équipe internationale de collaborateurs a calculé les hausses de contrainte importantes le long de trois systèmes de failles voisins. Du fait que cela faisait plus d'un siècle que certaines parties des failles voisines ne s'étaient pas

fissurées, les auteurs ont conclu que le risque qu'un autre tremblement de terre de magnitude 6 ou plus survienne dans la région dans les 10 prochaines années oscillait entre 57 et 71 % et qu'un tremblement de terre de magnitude 7 ou plus se produise au cours de la même période était compris entre 8 et 12 %. Ces probabilités sont pratiquement deux fois plus élevées que celles pour la décennie précédant le tremblement de terre de Wenchuan (Toda et alii, 2008).

En utilisant un modèle informatique des nombreuses failles actives dans le bassin du Sichuan et les régions environnantes, une autre équipe a calculé les changements de contrainte sismique le long de ces failles. Ils ont cartographié les changements de contrainte afin de localiser les tronçons de faille où le risque de répliques importantes était relativement élevé (Parsons et alii, 2008). Cette "analyse du transfert de contrainte" a été utilisée avec succès par le passé, notamment dans le cas du tremblement de terre de Sumatra du 26 décembre 2004, à l'origine du tsunami dévastateur. La réplique d'une amplitude de 8,7, ressentie trois mois plus tard, frappa une région dans laquelle on avait pu calculer qu'elle subissait une forte contrainte à la suite de l'événement du 26 décembre (McCloskey et alii, 2005). Les répliques peuvent se manifester pendant des années, mais les calculs d'augmentation de la contrainte peuvent être effectués en quelques jours. Les cartes générées à partir de ces modèles permettent d'identifier les futures zones potentielles de rupture afin d'y concentrer les efforts d'atténuation des effets (Parsons et alii, 2008).

Aussi importante la prévision des tremblements de terre puisse-t-elle être, elle ne peut remplacer une planification en prévision de catastrophes soigneusement élaborée, la sensibilisation du public ou des normes et règles de construction rigoureuses et strictement appliquées. Le grand nombre de décès enregistrés lors du tremblement de terre de Wenchuan a été imputé à la piètre construction de certains bâtiments, surtout des écoles, renforçant le dicton répandu parmi les sismologues disant que ce ne sont pas les tremblements de terre qui tuent, mais les bâtiments (Stone, 2008e). Si l'analyse continue de la géophysique complexe de l'événement de Wenchuan contribuera assurément à affiner l'évaluation des risques et les cartes des risques pour la région et ailleurs, il est possible d'en tirer une leçon immédiate et plus fondamentale. Même si les géophysiciens et les sismologues ont énormément appris à propos des mouvements tectoniques de notre planète, il reste beaucoup à découvrir. La sécurité dans une zone sismique ne peut donc jamais être supposée, ni garantie. Malheureusement, les planificateurs, les agences et, surtout, les habitants oublient cette leçon à leur péril.

### Catastrophes à évolution lente

Si les tempêtes et les tremblements de terre, voire les



A Yingxiu en Chine, des enfants sont restés bloqués suite à l'effondrement de ce collège lors du tremblement de terre de Wenchuan le 12 mai. On estime que quatre mille des dix mille habitants de cette ville ont été tués ici à l'épicentre du séisme. Source : UN Photo/Evan Schneider

inondations, surviennent en un court laps de temps, les sécheresses et les famines sont des catastrophes dites à évolution lente. De plus en plus d'éléments indiquent que les inondations et les sécheresses sont les deux extrêmes d'un mouvement pendulaire, avec pour corollaire la famine (Eltahir et alii, 2004). Toutefois, avec l'intensification du changement climatique global, les perturbations à la fois des schémas climatiques et de la dynamique générale du cycle hydrologique devraient jouer un rôle croissant dans les sécheresses et les inondations dévastatrices. Au regard de la répartition globale des ressources en eau douce, des modèles de croissance démographique et des perturbations prévues de l'alimentation en eau, conjuguées aux divisions géopolitiques et aux conflits existants, les instabilités hydrologiques vont continuer à déclencher ou à exacerber les tensions politiques et les conflits armés.

Les variations attendues des schémas de précipitation et de la disponibilité de l'eau dues au changement climatique sont complexes et ont été documentées par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (Bates et alii, 2008). Dans de nombreuses régions du monde, l'eau est déjà une denrée rare et la tendance devrait s'accroître à mesure que le changement climatique global progresse (IWMI, 2007 ; IPCC, 2007) (Figure 4). Les parties méridionale et septentrionale de l'Afrique, une grande partie du Moyen-Orient, une large bande en Asie centrale et le sous-continent indien, l'Australie méridionale et orientale, le nord du Mexique et le sud-ouest des Etats-Unis sont autant de zones qui devraient être touchées par une sécheresse persistante et la pénurie d'eau au cours des prochaines années

(IPCC, 2007). Ce contexte complique particulièrement les plans d'utilisation future de l'eau et l'atténuation des effets des catastrophes : les changements climatiques à l'œuvre bousculent les hypothèses arrêtées concernant les capacités et les réserves qui ont été adoptées par défaut comme schémas de gestion des eaux dans de nombreuses sociétés (Milly et alii, 2008).

L'Afghanistan et les régions voisines, notamment, connaissent une grave sécheresse depuis au moins la fin du siècle (ICRC, 2008). Beaucoup de choses ont été écrites à propos du rôle particulier que joue la pénurie d'eau dans le déclenchement des conflits armés et des hostilités dans les régions arides à travers le monde et tout laisse à craindre que l'Afghanistan en soit un exemple supplémentaire (IRIN, 2005 ; Gall, 2008a). En

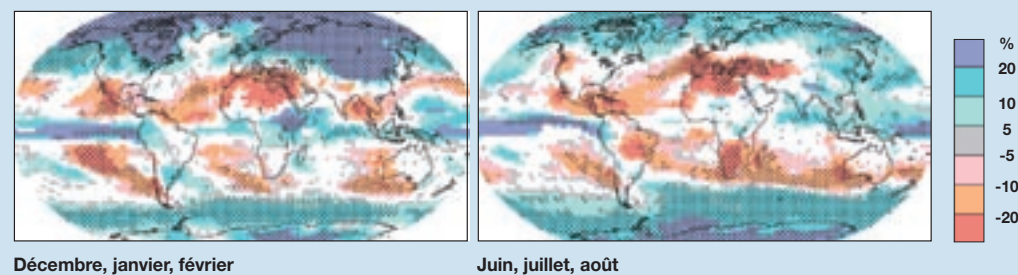
septembre, les organisations humanitaires ont signalé un risque croissant de famine généralisée dans le centre et le nord de l'Afghanistan. Les récoltes médiocres ont été imputées aux conditions hivernales très rigoureuses observées début 2008, suivies d'une sécheresse importante pendant la période de croissance estivale, faisant peser sur cinq millions d'Afghans un risque de pénurie alimentaire grave (Oxfam, 2008). Non seulement, le conflit en cours en Afghanistan gêne les efforts de fourniture d'aide et d'appui au développement dans les régions frappées par la sécheresse, mais la pression croissante de la sécheresse pourrait également ébranler la sécurité dans la région (Banzet et alii, 2007 ; Gall, 2008b).

### Ressources et sécurité

L'interaction entre les catastrophes, les défis environnementaux et le conflit est complexe. Comme à Haïti, les répercussions d'une catastrophe naturelle peuvent être exacerbées par la dégradation préexistante de l'environnement, faisant courir le risque d'aggravation des tensions sociales et de troubles civils. En Afghanistan et dans d'autres régions victimes d'une sécheresse persistante, les défis liés à la survie peuvent accélérer les dommages causés à l'environnement, mais aussi produire leur cohorte de guerriers mécontents et en colère potentiels aux options limitées, une recette dangereuse dans des régions où le conflit est déjà endémique (Kaplan, 1994 ; Henriksen et Vinci, 2008).

Il est fort probable que les catastrophes et la pénurie de ressources aggravent les conflits, si elles n'en sont pas directement à l'origine. Plusieurs éléments concordent pour indiquer une forte corrélation entre la rareté des ressources et les risques de conflit (Smith et Vivekananda, 2007). Des populations en forte croissance et la pression sur les ressources alimentent fortement la probabilité de violence et de conflit dans n'importe quelle situation donnée, telles les hostilités actuelles au Soudan et ailleurs (UNEP, 2008). Il a été démontré que la

Figure 4 : Projections de l'évolution des précipitations



Evolution relative des précipitations prévue pour 2090 à 2099 par comparaison avec la période 1980 à 1999, selon des analyses basées sur plusieurs modèles. Les zones blanches indiquent que moins des deux tiers des modèles s'accordent sur une tendance, tandis que les zones en pointillés indiquent que plus de neuf dixièmes des modèles s'entendent sur la tendance. Source : IPCC, 2007



Autrefois source d'irrigation pour des milliers d'hectares de terres et source d'approvisionnement pour plusieurs centrales hydro-électriques à réservoir, la principale rivière de Kaboul est devenue un caniveau quasiment sec en raison des sécheresses persistantes.

Source : Catherine McMullen/ UNEP

sécheresse persistante et le manque de terres fertiles contribuaient au conflit actuel au Darfour, où les ressources en eau ont toujours été limitées, mais où 16 des 20 années les plus sèches relevées à ce jour ont été observées depuis 1972 (UNEP, 2007).

Un effet contraire, parfois appelé la "malédiction des ressources," a également fait l'objet de débats (Ross, 2008). La pénurie de ressources essentielles est presque toujours la cause de tensions sociales, voire de conflits. Mais l'abondance de ressources commercialisables de valeur est aussi considérée comme une importante source potentielle de tensions ou un facteur aggravant dans les conflits armés. En effet, au moins 18 guerres civiles au cours des deux dernières décennies ont été alimentées par des ressources naturelles (UNEP, 2008). La malédiction des ressources se manifeste sous diverses formes, y compris l'usage de profits venant des matières premières telles que les gemmes, le bois ou les drogues pour appuyer les insurrections et les conflits nés d'un partage perçu comme inéquitable du produit des ressources naturelles. Cette malédiction peut être l'étincelle qui va déclencher les hostilités, servir de source de financement pour soutenir les conflits en cours ou dissuader la résolution d'un conflit tant que le problème de la propriété des ressources n'aura pas été résolu (Le Billon, 2007). Si, dans certains cas, ce schéma l'emporte, une analyse plus récente a permis de conclure que la malédiction des ressources n'était pas inéluctable. Au contraire, un usage dirigé des ressources naturelles doit être un volet important de la stratégie de développement durable d'une nation (Brunnschweiler et Bulte, 2008) (voir Gouvernance environnementale, chapitre 6).

## DE GRANDES ATTENTES

Il est clair que l'incidence et la gravité des catastrophes naturelles peuvent évoluer dans le temps et à l'échelle régionale et planétaire. Les signes suggèrent que

l'incidence des catastrophes augmente depuis plus d'un demi-siècle, et devrait continuer à augmenter. Plus spécifiquement, si les catastrophes géologiques telles que les tremblements de terre et les éruptions volcaniques sont restées sensiblement constantes au cours du siècle dernier, les catastrophes hydrométéorologiques comme les tempêtes, les inondations et les sécheresses ont augmenté de manière spectaculaire depuis 1950 (Eshghi et Larson, 2008). La fréquence de ces événements a crû en moyenne de 8,4 % par an entre 2000 et 2007, occasionnant un coût moyen annuel d'au moins 80 000 dollars (CREED, 2008). Selon une autre analyse, le nombre total de catastrophes a progressé de 100 événements environ par décennie entre 1900 et 1940 pour passer à pratiquement 3000 par décennie dans les années 1990 (O'Brien et alii, 2008). Un troisième avis estime le nombre total de catastrophes survenues entre 2000 et 2005 à 4850, et attribue leur effrayante augmentation à des catastrophes "technologiques" telles que des accidents ferroviaires et des effondrements de constructions, ainsi qu'à des événements climatologiques (Eshghi et Larson, 2008).

Les études de diverses catastrophes et d'options de prévention montrent le rôle joué par les écosystèmes intacts dans la résilience aux catastrophes, l'importance cruciale de bâtiments et d'infrastructures conçus dans les règles et l'utilité des systèmes prévisionnels et d'alerte précoce. Mais, comme les cas d'Haïti et du Myanmar l'ont démontré, certains facteurs vont au-delà des réalités physiques et logistiques, de l'intensité d'un tremblement de terre ou de la vitesse d'évacuation d'une population et contribuent à l'ampleur d'une catastrophe. Les chercheurs étudiant la vulnérabilité et la résilience aux catastrophes et aux risques naturels parlent de "vulnérabilité sociale" pour décrire cette constellation de facteurs qui influencent la vulnérabilité des hommes au changement climatique (Cutter et Finch, 2008). Pour une population donnée, ces facteurs peuvent inclure la classe socioéconomique, le sexe, l'âge, l'origine raciale ou ethnique, le statut

migratoire et le mode d'occupation du logement (selon que les personnes touchées louent leur habitation ou en sont propriétaires).

La vulnérabilité de l'homme au changement climatique peut augmenter ou diminuer dans le temps, parallèlement à l'évolution de facteurs démographiques et socioéconomiques. La vulnérabilité globale d'une nation peut également augmenter ou diminuer en fonction des tendances de développement et de migrations à grande échelle. Globalement, on a relevé un accroissement de la concentration de la densité de population dans les régions côtières, ainsi qu'une hausse concomitante de la prédisposition aux inondations côtières et aux tempêtes tropicales et des pertes engendrées par celles-ci (Webster et alii, 2005). Une évaluation quantitative de la vulnérabilité variable aux catastrophes aux États-Unis au cours des cinquante dernières années a fait apparaître des répercussions plus subtiles des mouvements démographiques (Cutter et Finch, 2008). Au cours de cette période de bouleversement démographique et socioéconomique, les auteurs ont noté une diminution nationale générale de la vulnérabilité aux catastrophes naturelles, accompagnée d'une hausse de la variabilité régionale. La densité urbaine, la race/l'ethnicité et le statut socioéconomique ont été les principaux facteurs d'accentuation de la vulnérabilité. Curieusement, l'âge a également été un facteur important à de nombreux endroits, y compris les états du nord (Dakota du Nord, Dakota du Sud et Montana). En effet, la population de nombreuses régions de ces états et d'autres est vieillissante, en raison de l'émigration de jeunes partis chercher ailleurs des emplois et des opportunités, et laissant derrière eux leurs parents plus vulnérables.

Des études aussi détaillées ont été menées pour quelques autres régions, dont la vallée du Yaqui au Mexique et en Inde. Pourtant, pour la plupart des régions du monde, ce genre d'études de l'évolution de la vulnérabilité de l'homme au changement climatique fait défaut (Luers et alii, 2003 ; O'Brien et alii, 2004). En



Source : Tim McKulka/ UN Photo

Chassées par les combats intenses au Soudan, les personnes déplacées dans leur propre pays reçoivent des rations d'aide alimentaire d'urgence distribuées par le Programme alimentaire mondial.

Chine, quelque 200 millions de personnes ont au cours des dernières décennies quitté les campagnes pour la ville, ce phénomène a été qualifié de plus grande migration massive de l'Histoire de l'homme (MN, 2008). Une grande partie de ce déplacement s'est faite depuis l'intérieur des terres vers les villes côtières de plus en plus densément peuplées, où une vulnérabilité accrue aux ouragans, aux inondations, aux séismes et à d'autres facteurs a été constatée. En extrapolant de l'expérience observée dans les états du nord des Etats-Unis ou de la vallée du Yaqui au Mexique, il semble qu'une émigration massive des jeunes renforcera la vulnérabilité dans les régions alimentant la migration de masse de la Chine. Dans le cas spécifique des efforts visant à atténuer les effets des inondations catastrophiques, les chercheurs ont conclu que, par un phénomène de transfert du risque, le fait de privilégier des approches structurelles et réglementaires et de négliger les facteurs de vulnérabilité humaine pouvait en fait accroître le risque d'inondation à long terme (Wilhelmi et Kelman, 2008). Dans leur anticipation de la vulnérabilité présente et future aux catastrophes naturelles, les planificateurs et les gestionnaires doivent être particulièrement attentifs aux corrélats physiques d'une catastrophe, comme les zones sismiques et la variation des schémas de précipitations et d'activité orageuse. Les preuves scientifiques et la logique indiquent toutefois qu'il est tout aussi impératif de tenir compte des changements sociaux, géographiques et démographiques (Wisner, 2003).

## CONCLUSION

L'aide internationale a bien souvent été un rouage

essentiel dans les efforts d'intervention et de récupération en cas de catastrophe, en particulier pour les pays en développement. Parmi les quelque 62 millions de décès dus à des catastrophes naturelles au cours du 20<sup>e</sup> siècle, plus de 85 % sont survenus avant 1950 (CRED, 2008). Les spécialistes en sciences sociales attribuent une part significative de cette baisse spectaculaire de la mortalité aux efforts de la communauté humanitaire internationale, mais se demandent également si la réaction internationale aux catastrophes a eu ou non des conséquences imprévues sur les priorités nationales en matière de préparation aux désastres. Ils mettent en particulier l'accent sur l'équilibre entre les dépenses nationales en matière de prévention des catastrophes et les secours et la récupération après l'événement. En outre, ils s'appuient sur un nouveau modèle quantitatif des incitants et des résultats de l'aide internationale en cas de catastrophe, pour suggérer que l'attente de l'aide internationale après une catastrophe naturelle peut avoir un effet "bailout" (renoncement). En effet, les gouvernements pauvres, corrompus ou peu enclins à réagir omettraient d'investir dans la prévention des catastrophes dans l'attente de l'arrivée rapide de l'aide étrangère gratuite après une catastrophe naturelle (Werker et Cohen, 2008).

Cette conclusion théorique troublante - que la présence ou l'attente de secours extérieurs puisse en réalité accroître la gravité de la catastrophe initiale - ne doit en aucun cas être prise comme un argument contre l'aide internationale en cas de catastrophe. Les initiatives d'intervention d'urgence doivent au contraire tenir compte d'un possible effet de renoncement, en décentralisant les secours, en encourageant le développement politique local et en récompensant l'évitement de désastres, autant d'éléments contribuant à la préparation et à la prévention des désastres «par les» gouvernements. Les secours en cas de catastrophe sont l'un des transferts de richesses les plus fondamentaux et les plus importants entre les pays développés et les pays en développement. Cependant, comme tous les transferts, ils peuvent tronquer les incitants ou être manipulés par des dirigeants qui recherchent leurs intérêts personnels : les politiques intérieures et les opérations internationales de secours doivent être pensées pour atténuer, et non pour exacerber, le courroux de la nature (Werker et Cohen, 2008).

Les chercheurs spécialisés établissent une distinction entre l'événement déclencheur, le "choc" (un tremblement de terre, une tempête, un incendie, une sécheresse ou une guerre) et la catastrophe indirecte, les vies emportées ou les dégâts occasionnés (Werker et Cohen, 2008). De plus en plus d'éléments indiquent que la fréquence et la gravité de certains chocs s'accroissent, en particulier ceux influencés par le système climatique global. En effet, rien ne laisse penser que le poids global des chocs

diminue. Il est également de plus en plus couramment admis que les catastrophes naturelles, les contraintes environnementales et l'accès aux ressources peuvent déclencher ou exacerber les conflits civils et militaires (UNEP, 2008). Les planificateurs, les gestionnaires et les populations locales n'ont d'autre choix pour limiter l'incidence des chocs naturels que de s'organiser pour atténuer le changement climatique. En revanche, l'évolution du choc initial en catastrophe ou en conflit généralisé passe par les sphères sociales, politiques et physiques. Il conviendrait dès lors d'y faire face à l'aide d'une planification saine et de décisions responsables. De plus, il est déterminé par des milliers de rapports officiels, de plans de gestion et de décisions individuelles. Ce sont ces plans et décisions que la science et l'expérience peuvent éclairer, et qu'une bonne gouvernance peut orienter si nous voulons limiter les dégâts occasionnés par les catastrophes et éviter la futilité des conflits violents.

# Evénements environnementaux significatifs de 2008



Sécheresse



Inondation et tempêtes



Modification du paysage



Ecosystèmes critiques



Transformation glaciaire et élévation du niveau de la mer



Accidents industriels



Epidémies



Séismes



Conflit



Le 12 septembre, les glaces de l'océan Arctique atteignent leur deuxième plus bas niveau depuis la mise en place des mesures par satellite, en 1979.



En décembre, les régions de l'Est du Canada enregistrent des chutes de neige record, le niveau atteignant plus de 50 cm dans de nombreux sites, y compris à Québec City.

A Valence en Espagne, une pluviométrie de 390 mm est enregistrée en moins de 24 heures.

Début novembre, un remorqueur heurte la conduite d'une raffinerie : près de 6 000 litres d'essence et de diesel sont déversés dans la Baie de San Francisco.

Fin décembre, 4 milliards de litres de cendres de charbon sont accidentellement déversés dans un affluent du Tennessee.

Au cours des mois de septembre et de novembre, l'Algérie et le Maroc enregistrent des pluies diluviennes : avec des niveaux de précipitations atteignant jusqu'à 200 mm en 6 heures. Les dégâts sont importants.

A la fin du mois de juillet, la majeure partie des Etats du sud-est de l'Amérique du Nord sont classés en tant que zones de sécheresse modérée à exceptionnelle.

Au mois de juin, les enquêteurs découvrent la cause des morts d'enfants survenues à Thiaryoye sur Mer, près de la capitale sénégalaise : une contamination au plomb, due au recyclage sauvage de batteries au plomb.

Début septembre, l'ouragan Ike provoque la mort de 180 personnes en Haïti et aux Etats-Unis. Le montant total des dégâts s'élève à près de 31,5 milliards de dollars sur les seuls territoires des Etats-Unis, de Cuba et des Bahamas.

Au milieu du mois d'août, la tempête tropicale Fay coûte la vie à 23 personnes dans les Caraïbes. La semaine suivante, l'ouragan Gustav provoque la mort d'au moins 59 personnes en Haïti et 8 personnes en République dominicaine.

Le Nigéria enregistre 418 cas de pollutions aux hydrocarbures au cours du premier semestre 2008.

Entre août 2007 et juillet 2008, le Brésil poursuit sa politique de déforestation dans la région appelée Amazonie légale, détruisant 1 196 800 hectares de forêts, soit une surface supérieure de 3,8 % par rapport à l'année précédente.

Dans le sud du Brésil, les pluies diluviennes du mois de novembre provoquent d'importantes inondations et coulées de boue, provoquant la mort de plus de 100 personnes et affectant près de 1,5 million de personnes.

La sécheresse touche l'Argentine, l'Uruguay et le Paraguay et affecte durement le secteur agricole.

Une grande partie de la plateforme de Wilkins s'effondre en février : à la fin du mois de décembre, des images satellites radar montrent des fissures supplémentaires à l'intérieur de la plateforme, notamment au sommet du pont de glace qui stabilise le bord de la plateforme. Selon le British Antarctic Survey, la plateforme « ne tient plus qu'à un fil ».



Début 2008, des océanologues découvrent plus de 250 panaches de méthane le long de la plate-forme continentale au nord-ouest de Svalbard.



En septembre, les glaces de l'océan Arctique atteignent leur deuxième plus bas niveau depuis la mise en place des mesures par satellite, en 1979.



Une étude internationale du plateau sibérien révèle des concentrations de méthane élevées au large du delta de la rivière Lena.

En juillet, de nombreux orages violents, accompagnés de fortes pluies, de tornades et de chutes de grêle, frappent l'Allemagne, faisant plusieurs victimes et provoquant des dégâts importants.

Lors du conflit armé en Géorgie, en août 2008, des dommages environnementaux sur les habitations et les infrastructures ont été rapportés ainsi qu'une pollution limitée des ports et du sol causée par de l'essence / des produits chimiques.

D'importantes tempêtes hivernales frappent le sud et le centre de la Chine entre janvier et février 2008, touchant plus de 78 millions de personnes.

Au début de l'année, l'Asie centrale enregistre les températures les plus faibles depuis des décennies.

Plus de 54 000 bébés et jeunes enfants doivent subir un traitement médical, suite à la contamination de produits laitiers à la mélamine en Chine

Depuis le mois de mars, la ville de Fuyang, dans la province d'Anhui en Chine, a enregistré 4 496 cas de la maladie mains-pieds-bouche chez les nourrissons et les jeunes enfants, dont 22 se sont révélés mortels.

Des chutes de neige touchent Bagdad pour la première fois en un siècle le 11 janvier, provoquant la mort d'environ 50 personnes et de 15 000 animaux.



Au mois de mai, un tremblement de terre d'une magnitude de 8 sur l'échelle de Richter frappe la province chinoise du Sichuan, près de Chengdu, tuant plus de 69 000 personnes. Il s'agit du dix-neuvième séisme le plus meurtrier de tous les temps.



Au milieu du mois de juin, des pluies torrentielles frappent le Sud de la Chine, provoquant des inondations et des coulées de boue soudaines, tuant 57 personnes et provoquant des pertes financières s'élevant à près de 4 milliards de dollars.

La population du Nord du Nigeria est frappée par une épidémie de poliomyélite sauvage de type 1, laquelle commence à se propager dans d'autres pays.

Au mois de janvier, de fortes chutes de neige et des températures négatives entraînent la mort de plus de 300 personnes en Afghanistan.

Au mois de mai, le cyclone tropical Nargis frappe la région du delta de l'Irrawaddy et la plus grande ville de la république de Myanmar, Yangon, entraînant avec lui des pluies diluviennes, de fortes rafales de vent et une onde de tempête. C'est le plus grand désastre naturel dans le monde en 2008, avec plus de 140 000 personnes mortes ou disparues et des millions de sinistrés.

Au mois de juin, le typhon Fengshen dévaste les Philippines. A l'origine de nombreuses catastrophes, il provoque notamment le chavirage d'un ferry transportant 800 personnes.

Les manifestations de violence suite aux élections générales de janvier au Kenya provoquent une crise humanitaire, avec le déplacement de 250 000 civils et des dégâts importants, tant au niveau des infrastructures que des programmes de préservation.

Des images d'un animal rare sont prises dans le parc national de Virunga, en République démocratique du Congo : elles représentent l'okapi, un animal sauvage et timide apparenté à la girafe et présentant des zébrures sur l'arrière-train. La rareté de l'espèce explique son statut quasi-mythique.

2008 voit le braconnage des rhinocéros augmenter de façon dramatique au Zimbabwe : vantées pour leurs vertus aphrodisiaques, les cornes de rhinocéros se revendent une fortune sur le marché noir.

Des individus d'une espèce de cervidé que l'on pensait disparue, le Muntjac de Sumatra, sont découverts dans les chaînes de montagnes isolées de l'Ouest de l'île de Sumatra, en Indonésie, près de huit ans après les dernières observations.

La sécheresse se renforce dans le sud-est de l'Australie, l'état de Victoria enregistrant sa neuvième année la plus sèche.

## RÉFÉRENCES

- AlertNet 2007. Cyclone Sidr would have killed 100,000 not long ago. *Reuters AlertNet*. <http://www.alertnet.org/db/blogs/19216/2007/10/16-165438-1.htm>
- Antony, A. (2008). Bangladesh steps up to tackle climate problems. *SciDev.Net*, 11 September. <http://www.scidev.net/en/climate-change-and-energy/climate-change-impacts/news/bangladesh-steps-up-to-tackle-climate-change.html> [Accessed 7 October 2008]
- Banzet, A., Bousquet, C., Boyer, B., de Geoffroy, A., Grünwald, F., Kauffmann, D., Pascal, P. and Rivière, N. (2007). Linking Relief, Rehabilitation and Development in Afghanistan to Improve Aid Effectiveness: Main Successes and Challenges Ahead. *Urgence Rehabilitation Développement (URD)* 2007. [www.reliefweb.int/rw/RWFFiles2007.nsf/FilesByRWDocUnidFilename/SODA-7BM8VG-full\\_report.pdf?File/full\\_report.pdf](http://www.reliefweb.int/rw/RWFFiles2007.nsf/FilesByRWDocUnidFilename/SODA-7BM8VG-full_report.pdf?File/full_report.pdf) [Accessed 21 November 2008]
- Bates, B.C., Kundzewicz, Z.W., Wu, S. and Palutikof, J.P., Eds., (2008). *Climate Change and Water*. Technical paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC Secretariat, Geneva
- Bird, K. and Prowse, M. (2008). Vulnerability, Poverty and Coping in Zimbabwe. Research Paper No. 2008/41: *United Nations University and World Institute for Development Economics Research*, April 2008
- Brunnswheiler, C.N. and Bulte, E.H. (2008). Linking Natural Resources to Slow Growth and More Conflict. *Science*, 320: 616-617
- Burchfiel, B.C., Royden, L.H., van der Hilst, R.D., Hager, B.H., Chen, Z., King, R.W., Li, C., Lü, J., Yao, H. and Kirby, E. (2008). A geological and geophysical context for the Wenchuan earthquake of 12 May 2008, Sichuan, People's Republic of China. *GSA Today*, 18(7), 4-11
- CREG (2008). *Annual disaster statistical review: The numbers and trends 2007*. Center for Research on the Epidemiology of Disasters, Brussels
- Cutter, S.L., Boruff, B.J. and Shirley, W.L. (2003). Social Vulnerability to Environmental Hazards. *Social Science Quarterly* 84(2): 242-261 <http://webtra.cas.sc.edu/nwri/products/sovi.aspx> [Accessed 10 December 2008]
- Elsner, J., Kossin, J. P. and Jagger, T. H. (2008). The increasing intensity of the strongest tropical cyclones. *Nature*, 445, 92-95
- Eltahir, E.A.B., Loux, B., Yamana, T.K. and Bombles, A. (2004). A See-Saw Oscillation between the Amazon and Congo Basins. *Geophysical Research Letters*, 31, L23201, doi:10.1029/2004GL021160.
- Emanuel, K. (2005). Increasing destructiveness of tropical cyclones over the past 30 years. *Nature*, 436, 686-688
- Eshghi, K., and Larson, R. C. (2008). Disasters: lessons from the past 105 years. *Disaster Prevention and Management*, 17(1), 62-82
- FAO (2008). Intact mangroves could have reduced Nargis damage. *FAO Newsroom*, 15 May. <http://www.fao.org/newsroom/en/news/2008/1008039/index.html> [Accessed 26 September 2008]
- Ferris, E. (2008). Natural Disaster and Conflict-Induced Displacement: Similarities, Difference and Inter-Connections. *Brookings Institute*. [http://www.brookings.edu/speeches/2008/0327\\_displacement\\_ferris.aspx?p=1](http://www.brookings.edu/speeches/2008/0327_displacement_ferris.aspx?p=1) [Accessed 16 December 2008]
- FEWS (2008). Zimbabwe Livelihood Profiles. *Famine Early Warning System Network – USAID* <http://www.fews.net/livelihood/zw/Profiling.pdf> [Accessed 29 November 2008]
- Gall, C. (2008a). War and drought threaten Afghan food supply. *New York Times*, September 19
- Gall, C. (2008b). Hunger and Food Prices Push Afghanistan to Brink. *New York Times*, <http://www.nytimes.com/2008/05/16/world/asia/16kandahar.html?hp> [Accessed 1 December 2008]
- Henriksen, R and Vinci, A. (2008). Combat Motivation in Non-State Armed Groups. *Terrorism and Political Violence* 20, 1: 87 – 109
- Holland, H. (2008). Rangers return to Congo gorilla park. *Reuters* [www.reuters.com/article/environmentNews/idUSTRE4AK61620081121](http://www.reuters.com/article/environmentNews/idUSTRE4AK61620081121) [Accessed 15 December 2008]
- Huq, S. (2008). Countries must prepare for and adapt to cyclone impact. *SciDevNet* <http://www.scidev.net/en/agriculture-and-environment/tropical-cyclones-1/opinions/countries-must-prepare-for-and-adapt-to-cyclone-im.html> [Accessed 16 December 2008]
- ICRC (2008). Latest report on ICRC activities in the field (January – August 2008). *International Committee of the Red Cross* <http://www.reliefweb.int/rw/rwb.nsf/db900SID/EDIS-7JKRC?OpenDocument> [Accessed 7 October 2008]
- IFRA (2008). China: Snow disaster Information Bulletin No. 1 *International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies* [www.reliefweb.int/rw/rwb.nsf/db900SID/CMAS-7BHQZV?OpenDocument](http://www.reliefweb.int/rw/rwb.nsf/db900SID/CMAS-7BHQZV?OpenDocument) [Accessed 15 December 2008]
- Ikeda, K. (1995). Gender Differences in Human Loss and Vulnerability in Natural Disasters: A Case Study from Bangladesh. *Indian Journal of Gender Studies*, 2(2): 171-193, DOI: 10.1177/097152159500200202
- IPCC (2007). *Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva
- IRIN (2008a). Myanmar: Shortage of seedlings holds back mangrove recovery. *International Regional Information Networks, UN Office for the Coordination of Humanitarian Affairs*. <http://www.irinnews.org/report.aspx?ReportId=81449> [Accessed 30 November 2008]
- IRIN (2008b). Myanmar: Cyclone survivors face water shortages. *International Regional Information Networks, UN Office for the Coordination of Humanitarian Affairs*. <http://www.irinnews.org/Report.aspx?ReportId=82129> [Accessed 30 December 2008]
- IRIN (2008c). Myanmar: Salt farmers battling to rebuild livelihoods. *International Regional Information Networks, UN Office for the Coordination of Humanitarian Affairs*. <http://www.irinnews.org/Report.aspx?ReportId=81689> [Accessed 30 November 2008]
- IRIN (2008d). Myanmar: food assistance "likely" for up to a year. *International Regional Information Networks, UN Office for the Coordination of Humanitarian Affairs*. <http://www.irinnews.org/report.aspx?ReportId=78631> [Accessed 23 October 2008]
- IRIN (2005). Afghanistan: Water a serious problem nationwide. *International Regional Information Networks, UN Office for the Coordination of Humanitarian Affairs*. <http://www.irinnews.org/report.aspx?reportid=20150> [Accessed 30 October 2008]
- IWMI (2007). *Water for Food, Water for Life: A Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture*. London: Earthscan, and Colombo: International Water Management Institute
- JMA (2008). What is the earthquake early warning? Japan Meteorological Agency. <http://www.jma.go.jp/jma/en/Activities/eew1.html> [Accessed 13 October 2008]
- Kaplan, R.D. (1994). The Coming Anarchy: How scarcity, crime, overpopulation, tribalism, and disease are rapidly destroying the social fabric of our planet. *The Atlantic*, February 1994 <http://www.theatlantic.com/doc/199402/anarchy> [Accessed 12 October 2008]
- Le Billon, P. (2007). Natural Resources and Armed Conflict. *The Canadian Consortium on Human Security, Human Security Bulletin*, 5(2): 1-26 <http://www.humansecurityinfo.org/vol52lebillon/4527474069> [Accessed 9 November 2008]
- Luers A.L., Lobell D.B., Sklar L.S., Addams C.L. and Matson P.A. (2003). A method for quantifying vulnerability, applied to the agricultural system of the Yaqui Valley, Mexico. *Global Environ. Change*, 13, 255-267
- Maguwu, F. (2008). Land Reform, Famine and Environmental Degradation in Zimbabwe *Journal of Human Security*, 9(2): 32-46
- Malone, S. (2008). A warning about early warning. *Seismological Research Letters*, 79(5), 603-604
- McCloskey, J., Nalbant, S. S. and Steacy, S. (2005). Indonesian earthquake: Earthquake risk from co-seismic stress. *Nature* 434, 291
- MCEER (2008). China earthquake, Sichuan Province news & statistics. *Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Research*. <http://mceer.buffalo.edu/info/service/disasters/china-earthquake-sichuan.asp> [Accessed 8 October 2008]
- Milly, P.C.D., Betancourt, J., Falkenmark, M., Hirsch, R.M., Kundzewicz, Z.W., Lettenmaier, D.P. and Stouffer, R.J., (2008). *Science*, 319, 573-574
- MN (2008). China: Migrants, Taiwan. *Migration News*, 14, 2 [http://migration.ucdavis.edu/mn/more.php?id=2353\\_0\\_3\\_0](http://migration.ucdavis.edu/mn/more.php?id=2353_0_3_0)
- Mongabay (2008). Rangers return to Virunga and begin gorilla census. [http://news.mongabay.com/2008/1201-hance\\_congo\\_gorillas.html](http://news.mongabay.com/2008/1201-hance_congo_gorillas.html) [Accessed 10 December 2008]
- Morell, V. (2008). Letting 1000 forests bloom. *Science*, 321, 1442-1443
- NASA (2008a). Earthquake near Chengdu, China. *NASA Earth Observatory, USA*. [http://earthobservatory.nasa.gov/NaturalHazards/natural\\_hazards\\_v2.php3?img\\_id=14882](http://earthobservatory.nasa.gov/NaturalHazards/natural_hazards_v2.php3?img_id=14882) [Accessed 6 October 2008]
- NASA (2008b). Storm-churned waters off Cuba. *NASA Earth Observatory, USA*. [http://earthobservatory.nasa.gov/NaturalHazards/natural\\_hazards\\_v2.php3?img\\_id=15041](http://earthobservatory.nasa.gov/NaturalHazards/natural_hazards_v2.php3?img_id=15041) [Accessed 6 October 2008]
- Panakkat, A., and Adeli, H. (2008). Recent efforts in earthquake prediction (1990-2007). *Natural Hazards Rev.* 9(2), 70-80
- Parsons, T., Ji, C. and Kirby, E. (2008). Stress changes from the 2008 Wenchuan earthquake and increased hazard in the Sichuan basin. *Nature*, 454, 509-510
- PONJA (2008). *Post-Nargis Joint Assessment*. <http://www.asean.org/21765.pdf> [Accessed 4 October 2008]
- O'Brien, K., Leichenko, R., Kelkar, U., Venemad, H., Aandahl, G., Tompkins, H., Javed, A., Bhadwal, S., Barg, S., Nygaard J. and West, J. (2004). Mapping vulnerability to multiple stressors: climate change and globalization in India. *Global Environ. Change* 14, 303-313
- O'Brien, K., Sygna, L., Leichenko, R., Adger, W. N., Barnett, J., Mitchell, T., Schipper, L., Tanner, T., (2003). OFDA/CRED. EM-DAT: The OFDA/CRED International Disaster Database. Center for Research on the Epidemiology of Disasters. Brussels: Université Catholique de Louvain
- OHCA (2008a). Myanmar: Cyclone Nargis, Situation Report No. 3, United Nations Office for the Coordination of Humanitarian Affairs. <http://www.reliefweb.int/rw/rwb.nsf/db900SID/MUMA7EE2E?OpenDocument&query=Nargis> [Accessed 12 December 2008]
- OHCA (2008b). Situation Report 15 – Caribbean Hurricane Season. [http://www.reliefweb.int/rw/RWFFiles2008.nsf/FilesByRWDocUnidFilename/FBUO-7JJCTL-full\\_report.pdf?File/full\\_report.pdf](http://www.reliefweb.int/rw/RWFFiles2008.nsf/FilesByRWDocUnidFilename/FBUO-7JJCTL-full_report.pdf?File/full_report.pdf) [Accessed 12 December 2008]
- O'Hare, G. (2008). Cyclones in the Indian Ocean: facts and figures. *SciDev.Net* <http://www.scidev.net/en/agriculture-and-environment/tropical-cyclones-1/features/cyclones-in-the-indian-ocean-facts-and-figures.html#> [Accessed 16 December 2008]
- Oxfam (2008). Afghanistan: Time running out to avert winter of hunger warns Oxfam. <http://www.oxfam.org.uk/applications/blogs/pressoffice/?p=1468> [Accessed 24 September 2008]
- Ross, M. (2008). The Natural resource curse: How wealth can make you poor. In *Natural Resources and Violent Conflict – Options and Actions* (eds. I. Bannon and P. Collier). World Bank, Washington, D.C.
- Smith, D. and Vivekananda, J. (2007). *A Climate of Conflict: The links between climate change, peace and war*. International Alert, London
- Stone, R. (2008a). An unpredictably violent fault. *Science*, 320, 1578-1580
- Stone, R. (2008b). Landslides, flooding pose threats as experts survey quake's impact. *Science*, 320, 996-997
- Stone, R. (2008c). Lessons of disasters past could guide Sichuan's revival. *Science*, 321, 476
- Stover, E., and Vinck, P. (2008). Cyclone Nargis and the politics of relief and reconstruction aid in Burma (Myanmar). *Journal of the American Medical Association* 300(6), 729-731
- Toda, S., Lin, J., Meghraoui, M., and Stein, R. (2008). 12 May 2008 M-7.9 Wenchuan, China, earthquake calculated to increase failure stress and seismicity rate on three major fault systems. *Geophys. Res. Lett.* 35, L17305, doi:10.1029/2008GL034903, 2008.
- UN-INSTRAW (2008). UN study: Vulnerable populations and natural disasters. Press Release <http://www.reliefweb.int/rw/rwb.nsf/db900SID/FBUO-7KADEV?OpenDocument> [Accessed 16 December 2008]
- USGS (2008). Magnitude 7.9 – Eastern Sichuan, China. U.S. Geological Survey. <http://earthquake.usgs.gov/eqcenter/recenteqswm/Quakes/us2008ryan.php> [Accessed 12 October 2008]
- UNEP (2008). From conflict to peacebuilding: The role of natural resources and the environment. UNEP Expert Advisory Group on Environment, Conflict and Peacebuilding
- UNEP (2007). *Sudan Post-Conflict Environmental Assessment*. United Nations Environment Programme, Geneva. <http://www.unep.org/sudan/> [Accessed 02 October]
- Webster, P.J. (2008). Myanmar's deadly daifooli. *Nature Geoscience*, doi: 10.1038/ngeo257
- Webster, P. J., Holland, G. J., Curry, J. A., and Chang, H.-R. (2005). Changes in Tropical Cyclone Number, Duration, and Intensity in a Warming Environment *Science* 309(5742), 1844-1846
- Werker, E.D. and Cohen, C. (2008). The political economy of "natural" disasters. *Journal of Conflict Resolution*, 52(6):795-819 DOI: 10.1177/0022002708322157
- Wilhelmi, O. and Kelman, I. (2008). Elements of a flood disaster: The role of vulnerability in disaster risk reduction. In: *Third Symposium on Policy and Socio-Economic Research at the 88th American Meteorological Society Annual Meeting*, 20-24 January 2008, New Orleans, Louisiana
- Wisner, B. (2003). *At Risk: Natural Hazards, People's Vulnerability and Disasters* Routledge, New York, USA
- WRI (2003). *A Guide to World Resources 2002-2004 - Decisions for the Earth: Balance, Voice and Power*. World Resources Institute, Washington D.C.
- Xin, H. (2008). A green fervor sweeps the Qinghai-Tibetan Plateau. *Science*, 321, 633-635
- Xinhua (2008a). Quake costs China 73 bln USD: says official think tank. *Xinhua News Agency*. [http://news.xinhuanet.com/english/2008-06/18/content\\_8394282.htm](http://news.xinhuanet.com/english/2008-06/18/content_8394282.htm)
- Xinhua (2008b). Drainage of China's main quake lake goes smoothly, high alert remains. *Xinhua News Agency*. [http://news.xinhuanet.com/english/2008-06/08/content\\_8326965.htm](http://news.xinhuanet.com/english/2008-06/08/content_8326965.htm)



# Rendement des ressources

La mauvaise gestion, qu'elle soit industrielle ou environnementale, n'est pas indissociable du développement : il existe des outils destinés à réduire la surexploitation et la pollution, et il est possible de servir le bien public et de créer des communautés saines tout en appliquant les principes de l'écologie industrielle comme l'analyse des cycles de vie et la symbiose industrielle.



Canalisation de vapeur d'une centrale électrique et d'une installation de valorisation de l'éthanol en vue de sa réutilisation, sur la zone de symbiose industrielle de Kalundborg, au Danemark. Source : Ove Andersen

## INTRODUCTION

Notre rythme de consommation est supérieur au rythme de régénération de la nature et nous produisons des déchets plus vite qu'elle ne peut les recycler. Le message que nous transmettent les études publiées en 2008 est clair : la consommation humaine des ressources de la planète dépasse d'environ 30 % sa capacité à se régénérer (WWF, 2008), et la croissance de la population et des besoins matériels de nombreuses parties du monde ne font qu'amplifier chaque année ce déficit écologique.

Le problème fondamental provient de la manière dont nous gérons notre système de production et de

consommation : celui-ci entraîne épuisement des ressources naturelles, accumulation des déchets, pollution et changements climatiques. Il va falloir que nous transformions radicalement nos modèles de production et de consommation, que nous stimulions l'innovation technologique et que nous utilisions les ressources disponibles de manière bien plus efficace si nous désirons éviter que le déficit écologique ne conduise les écosystèmes régionaux et planétaire au point de basculement (IEA, 2008a).

L'utilisation plus efficace des ressources est également une étape essentielle sur la voie du développement durable

et du bien-être économique, lesquels constituent deux des cibles visées par les Objectifs du millénaire pour le développement (OMD). L'OMD 7, par exemple, définit quatre cibles pour assurer un environnement durable : inverser la tendance à la déperdition de ressources environnementales, réduire la perte de biodiversité, réduire le pourcentage de la population qui n'a pas accès à un approvisionnement en eau potable et à un système d'assainissement de base et améliorer sensiblement la vie d'au moins 100 millions d'habitants de taudis. Pour atteindre chacune de ces cibles, il est nécessaire que nous utilisions plus efficacement les ressources disponibles.

### Encadré 1 : Petit glossaire de l'éco-efficacité

Il existe bon nombre de termes pour désigner les différents composants et aspects de l'utilisation efficace des ressources. En voici quelques-uns, accompagnés de leur définition :

L'écologie industrielle recouvre la transformation des processus industriels de systèmes en boucle ouverte, qui épuisent les ressources et le capital du système pour en faire des déchets, en systèmes en boucle fermée, où les déchets deviennent des intrants pour les nouveaux processus.

La symbiose industrielle représente la mise en circulation des sous-produits chez un ou plusieurs acteurs industriels afin préserver les ressources disponibles. Il s'agit d'un sous-ensemble de l'écologie industrielle plus particulièrement axé sur les échanges de matériaux et d'énergie.

Le biomimétisme est la science qui étudie les modèles, les systèmes, les processus et les éléments présents dans la nature afin de les imiter ou de s'en inspirer et de résoudre les problèmes qu'engendrent les pratiques non durables.

L'analyse du cycle de vie consiste à faire l'inventaire des échanges et des impacts écologiques d'un produit, tout au long de sa durée de vie, dans le but de les minimiser.

La dématérialisation est la réduction absolue ou relative de la quantité de matériaux exigés par les fonctions économiques de la société.

Source : UNEP, 2008 ; SCORE, 2008 ; Ausubel et Waggoner, 2008

Utiliser plus efficacement les ressources disponibles exige non seulement que nous améliorions nos technologies mais également que les gouvernements, les entreprises et la société civile adoptent de nouveaux cadres et de nouveaux comportements. Il faut pour cela faire bien plus que réduire les émissions les plus inutiles dans les secteurs où cela peut être réalisé le plus facilement ou que reconcevoir des processus inefficaces. Heureusement, les occasions d'adopter des pratiques de consommation et de production viables ne manquent pas : il est parfaitement envisageable d'atteindre de concert les objectifs de développement, d'accroissement du bien-être économique et d'amélioration de la stabilité écologique. Certes, cela nécessitera un certain niveau de collaboration ainsi que des efforts conscients et concertés, mais les avantages potentiels du passage à l'acte l'emportent de loin sur les risques que nous courons en continuant à ne rien faire (**Encadré 1**) (**Figure 1**).

### FAIRE PLUS EN GASPILLANT MOINS

En matière de taux de croissance et d'intensité d'extraction des ressources, il existe essentiellement trois grandes régions, qui se différencient par leur niveau de développement économique, leurs schémas commerciaux et leur structure industrielle : premièrement, les pays de l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE) ; deuxièmement, les pays récemment industrialisés comme le Brésil, la Russie, l'Inde,

l'Indonésie, la Chine et l'Afrique du Sud ; et enfin, le reste des pays en développement. C'est du côté des pays récemment industrialisés que l'on attend la plus forte croissance et la plus intense extraction des ressources, tandis que la part des pays de l'OCDE dans l'extraction mondiale des ressources ne fait que rétrécir. Dans un contexte où les économies émergentes influencent de plus en plus les marchés mondiaux, cette poussée d'utilisation des ressources trouve sa source dans l'évolution des attentes de populations en pleine croissance (OECD, 2008 ; IEA, 2008b) ; ces attentes entrent en conflit direct avec la nécessité d'utiliser plus efficacement les ressources, particulièrement dans les domaines du bâtiment (construction et utilisation), des transports, de la production alimentaire et de l'utilisation de l'eau.

L'an dernier, le monde a déversé plus de deux milliards de tonnes de déchets. Les pays riches sont les plus gaspilleurs, chaque personne y jetant quotidiennement 1,4 kg de déchets solides, mais ce chiffre s'est stabilisé ces dernières années dans la mesure où une part de la

population tente de générer moins de déchets et de recycler plus. On s'attend néanmoins à ce que les pays plus pauvres produisent plus de déchets au fur et à mesure qu'ils se développent. En 2004, la Chine a volé à l'Amérique la première place dans la "course" à la production de déchets : d'ici 2030, elle en générera près de 500 millions de tonnes par an (Medina, 2007) (**Figure 2**).

### Cadre bâti

Le cadre bâti (à savoir les bâtiments, les chaussées et autres structures ainsi que l'énergie et les matériaux servant à les construire et à les faire fonctionner) est responsable d'une grande part de l'utilisation des matières premières et de 30 à 40 % du total des besoins en énergie dans les économies développées (WBCSD, 2007). Les efforts visant à améliorer l'efficacité de l'utilisation des ressources dans le secteur du bâtiment doivent porter sur les matériaux et les techniques de construction, et plus particulièrement sur les installations qui consomment beaucoup d'énergie (éclairage, ventilateurs, pompes, etc.) et sur celles qui influencent la consommation

Figure 1 : Modèle qui permettrait d'atteindre la consommation durable en Asie

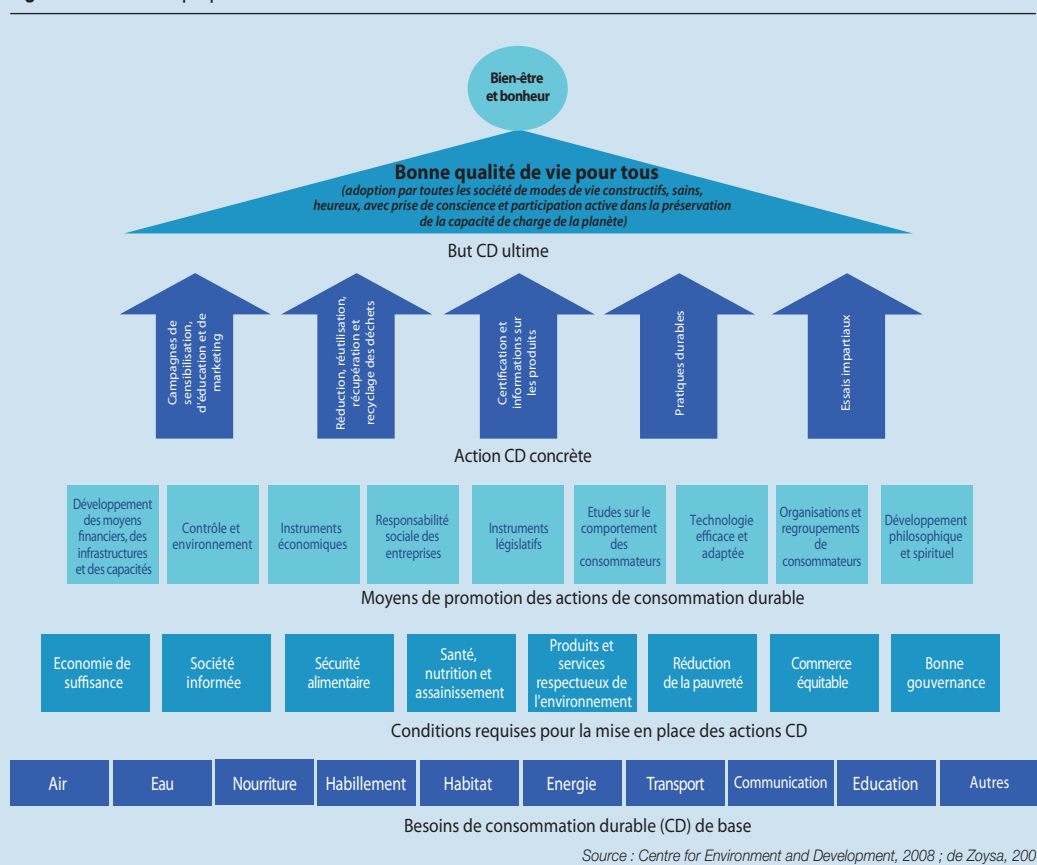
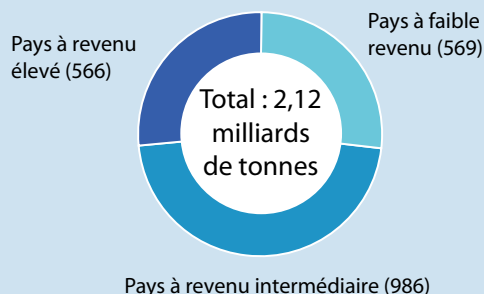
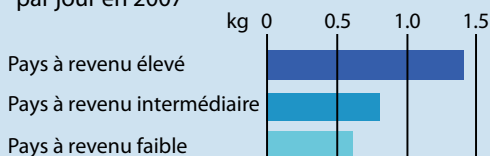


Figure 2 : Quel gaspillage

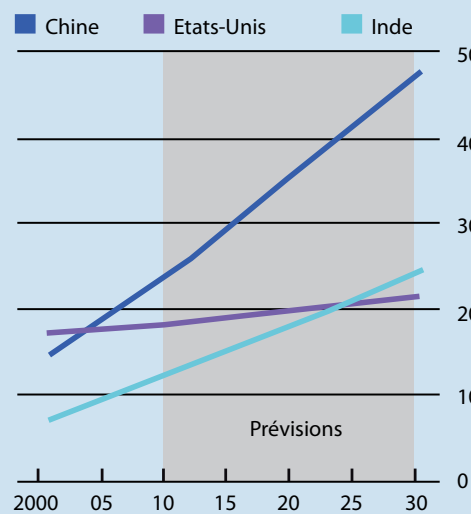
### Volume total de déchets en 2007



### Quantité de déchets produite par personne et par jour en 2007



### Millions de tonnes



Source : Medina 2007

d'énergie, notamment les fenêtres et l'isolation.

On sait que les principes du biomimétisme ont été appliqués au cadre bâti en 1996 par les architectes et entrepreneurs qui ont conçu l'Eastgate Building de Harare, au Zimbabwe, sur le modèle des systèmes de refroidissement des termitières. Le plan de ce bâtiment provient directement de l'observation des termites-boussoles, lesquelles construisent des tours cunéiformes dont la pointe est toujours tournée vers le nord, afin que les côtés captent la chaleur du matin et du soir et que seule une petite surface soit exposée au soleil de midi. Toutes les surfaces affichent des orifices de ventilation. Lorsque l'air présent à l'intérieur de la termitière s'échauffe, il s'élève et sort par les ventilations des zones supérieures, créant naturellement un courant d'air frais moins chaud en provenance des orifices des zones inférieures. L'Eastgate Building fait appel à un système de refroidissement passif qui fonctionne selon le même principe, auxquels les architectes sont venus ajouter une série d'autres caractéristiques, comme des surplombs de fenêtre élargis (Webb, 1994). Depuis son ouverture, l'immeuble, avec ses 5 600 mètres carrés de surfaces commerciales, ses 26 000 mètres carrés de bureaux et son parking de 450 places, a consommé en moyenne 90 % d'énergie en moins que les autres bâtiments de même taille, ce qui a permis d'épargner plus de 3,5 millions de dollars rien qu'en frais de climatisation (Biomimicry Guild, 2008).

Dans le secteur du bâtiment, la volonté d'utiliser plus efficacement les ressources est devenue un phénomène mondial. Selon une enquête mondiale, 32 % des professionnels du bâtiment en moyenne estiment que plus de 10 % des constructions privées commencent déjà à faire appel aux principes d'utilisation efficace des ressources, et 53 % des répondants indiquent qu'ils comptent y faire appel sur plus de 60 % de leurs projets au cours des cinq années à venir (McGraw-Hill Construction Analytics, 2008). Plusieurs pays, dont le Canada, la France et le Royaume-Uni, ont lancé des programmes visant à rendre le cadre bâti énergétiquement neutre, c'est-à-dire à faire en sorte qu'un bâtiment occupé produise autant d'énergie qu'il n'en consomme (WBCSD, 2007).

Les déchets de construction représentent eux aussi un défi en matière d'utilisation plus efficace des ressources : rien qu'au Royaume-Uni, le secteur de la construction consomme chaque année plus de 400 millions de tonnes de matériaux et génère près de 120 millions de tonnes de déchets issus des démolitions, des excavations et des constructions, soit près d'un tiers de l'ensemble des déchets produits par le pays (WRAP, 2008). On estime par ailleurs que 25 millions de tonnes de déchets de construction, d'une valeur potentielle de près de 2 milliards de dollars, se retrouvent mis en décharge sans espoir de récupération ou de réutilisation. En octobre 2008, le

Waste & Resources Action Programme britannique a mis à disposition des entreprises un contrat volontaire dont l'objectif est de réduire la production de déchets de construction de 50 % d'ici 2012 (WRAP, 2008).

De nombreux bâtiments ont une durée de vie d'au moins une génération ; il est par conséquent important d'améliorer les normes relatives à l'utilisation des ressources dans le secteur du bâtiment avant que la politique de l'autruche ne conduise à la construction d'une nouvelle génération d'immeubles gaspillant les ressources. En raison du développement fulgurant du secteur de la construction dans les pays en développement, lequel devrait s'accompagner d'un doublement de la surface habitable actuelle d'ici 2030, il est absolument



L'Eastgate Building dispose d'un système de climatisation passive s'inspirant des modèles trouvés dans la nature.

Source : Mick Pearce

essentiel d'adopter au plus vite des produits, des systèmes et des matériaux écologiquement viables (**Encadré 2**) (IEA, 2008b). Les gouvernements peuvent mettre en place des cadres réglementaires visant à forcer le passage, à l'échelle mondiale, aux pratiques de construction durables, au chauffage à l'énergie solaire, aux ampoules basse consommation ainsi qu'aux

### Encadré 2 : Améliorations matérielles au cadre bâti

Le béton est le matériau de construction le plus utilisé au monde : sa production mondiale avoisine les 2,35 milliards de tonnes par an. A chaque habitant de la planète correspond un mètre cube de béton solide. Ce matériau se résume à mélanger de l'eau et du ciment à base de calcium à des graviers ou à de la pierre concassée. En revanche, le processus de fabrication du ciment nécessite généralement l'utilisation de charbon et de températures élevées. Le ciment est fabriqué en chauffant du carbonate de calcium ou de la chaux dans un four rotatif à environ 1 000 °C. De grandes quantités de dioxyde de carbone sont ainsi rejetées au cours du processus de chauffe et de la séparation des composés d'oxyde de calcium souhaités. Au total, la production de ciment mondiale contribue à près de 5 % des émissions totales mondiales de CO<sub>2</sub> (voir Changement climatique, chapitre 3).

Le béton, dont la réalisation dépend du ciment, est le matériau de construction idéal car il est résistant, durable, modelable et relativement peu onéreux s'il l'on fait abstraction du CO<sub>2</sub>. Etant donné l'utilisation largement répandue du ciment et sa contribution significative aux émissions, les efforts d'atténuation des effets doivent se concentrer particulièrement sur sa production. On notera des initiatives de rendement des ressources, des protocoles de production modifiés et des matériaux de remplacement. Si les émissions de CO<sub>2</sub> provenant de la production du ciment pouvaient être réduites ne serait-ce que de 10 %, un cinquième de l'objectif du Protocole de Kyoto, à savoir une réduction globale des émissions de 5,2 %, serait atteint.

La résistance et la durabilité du ciment sont dues à la tendance principale de ses particules de silicate et d'hydrate de calcium à s'organiser naturellement en la structure la plus dense possible pour des objets sphériques. Les chercheurs de l'Institut de technologie du Massachusetts aux Etats-Unis tentent actuellement de concevoir un matériau de remplacement qui présenterait la même compacité et ne nécessiterait pas d'être chauffé à température élevée. Ils s'intéressent particulièrement aux composés de magnésium, un matériau de récupération de nombreux autres procédés industriels.

Une autre variation de la recette de base du ciment est susceptible d'endiguer un autre problème écologique persistant : la mise au rebut des cendres de charbon (voir Substances nocives et déchets dangereux, chapitre 2). Le béton contenant des cendres de charbon, les particules minérales capturées des cheminées des centrales thermiques alimentées au charbon, présente un double avantage : recycler un matériau perdu sans devoir le chauffer à nouveau. De nouveaux substituts au béton géopolymère, à base de silicone et d'aluminium provenant des cendres de charbon et de laitier de fonte, pourraient permettre de réduire les émissions de CO<sub>2</sub> de la production de ciment de pas moins de 20 % et de recycler des déchets industriels tout en offrant un produit moins enclin à l'altération chimique.

Sources : Worrell et alii, 2001 ; Constantindes et Ulm, 2007 ; IPCC, 2007 ; CSI, 2008 ; Climate Change Corp, 2008 ; Geopolymer Institute, 2008



Les chauffe-eau solaires deviennent de plus en plus populaires à Ho Chi Minh Ville, au Vietnam. En 2008, le gouvernement vietnamien a mis sur pied un programme visant à subventionner une partie des frais d'installation de ces appareils, ce qui permet de soutenir les fabricants locaux tout en réalisant une économie annuelle de 57 millions de kWh, soit 4 900 tonnes d'équivalent-pétrole. Source : Dong Ngo/ CNET.com

appareils électroménagers et au matériel de bureau les plus économes (IEA, 2008b).

### Transports : plus intelligents, plus rationnels

Pour des raisons à la fois pratiques et traditionnelles, le secteur des transports dépend, plus que tout autre, des carburants fossiles liquides (IEA, 2006). En 2006, les transports ont représenté 23 % des émissions mondiales de CO<sub>2</sub> liées à l'énergie (IEA, 2008b).

En matière de transports et de pollution associée à ceux-ci, la croissance prévue provient de deux facteurs : l'expansion du parc de véhicules automobiles privés dans les pays en développement et la croissance du transport international de passagers et de fret. Les récentes études montrent que les voitures et autres véhicules privés sont responsables d'environ 80 % des dégradations écologiques liées aux transports, et ce, malgré les améliorations majeures auxquelles nous avons assisté ces dernières années en matière de performances environnementales (Tukker et alii, 2006). Aux coûts directs, bien connus, associés à l'augmentation du nombre de véhicules automobiles (à savoir les problèmes respiratoires, les accidents de la route, le bruit et les émissions), viennent s'ajouter les coûts indirects liés à la circulation et aux embouteillages, notamment en termes de perte de productivité (WBSCD, 2001). D'après les estimations, il se trouvait 650 millions de véhicules sur les routes en 2005 ; un chiffre qui devrait plus que doubler d'ici 2030 (IEA, 2008b).

En 2005, l'American Society of Civil Engineers prévoyait que les infrastructures de transport constitueraient l'un

des grands défis du 21<sup>e</sup> siècle et que les approches isolées (nouvelles technologies, nouveaux carburants, nouveaux modèles de tarification ou nouvelles politiques) ne permettraient pas de résoudre les problèmes de transports urbains (ASCE, 2005). La complexité du problème rend nécessaire la mise au point de solutions sophistiquées ainsi que de nouveaux modèles d'affaires ; on ne parviendra à utiliser plus efficacement les ressources qu'en faisant en sorte qu'un plus grand nombre de personnes et de produits se rendent à leur destination en employant chacun moins de matériaux et moins de carburant tout en engendrant moins de pollution (**Encadré 3**).

Une application fascinante est l'initiative Sustainable Mobility and Accessibility Research and Transformation (SMART) de l'Université du Michigan, aux Etats-Unis. Cette dernière est entrée en partenariats avec divers acteurs en vue d'améliorer les infrastructures urbaines de Bangalore et de Chennai, en Inde, de neuf villes d'Afrique du Sud et de plusieurs villes des Etats-Unis. La stratégie employée consiste à promouvoir les transports publics en créant des plateformes qui facilitent la circulation des personnes de manière aussi efficace et respectueuse de l'environnement que possible (Zielinski, 2008).

La première phase du projet de Chennai se concentre sur la réduction des embouteillages et de la pollution en ciblant les individus les plus susceptibles de posséder un véhicule personnel et de s'y connaître en technologie, à savoir les milliers de navetteurs qui prennent chaque jour la même route pour aller travailler dans le secteur de l'informatique. Les chemins de fer et les autobus vont être connectés au réseau sans fil, ce qui permettra à ces employés de travailler lors de leurs déplacements, d'être plus productifs et de bénéficier de journées de travail

### Encadré 3 : Véhicules à louer

Les navetteurs parisiens ont adopté le système de location de vélo Vélib avec enthousiasme. Depuis le lancement du programme en juillet 2007, le nombre de vélos disponibles a doublé pour atteindre 20 000 sur 1 400 sites. Ce succès a inspiré un programme équivalent pour les voitures : en juin 2008, le maire de la ville a annoncé qu'à partir de 2010, 4 000 petites voitures électriques seraient mises à disposition des citoyens en 700 dépôts Autolib répartis dans Paris et sa banlieue. La SNCF espère participer au programme en faisant de ses gares des dépôts Autolib.

Certains critiques voient cependant ce projet comme un pas en arrière qui ajoutera simplement à la congestion de la ville, que le Vélib était censé réduire, tandis que d'autre le considèrent comme un simple service de taxi sans chauffeur.

Les défenseurs du programme répondent quant à eux que, grâce à l'informatisation, les utilisateurs sauront toujours exactement où ils doivent déposer la voiture qu'ils louent, ce qui éliminera les problèmes de parking. Il est également prévu d'unifier les plans de paiement pour le vélo et la voiture avec les systèmes de billetterie des transports en commun traditionnels.

Source : Fairley, 2008 ; Appleton, 2008

plus courtes. Une fois arrivés à l'arrêt le plus proche de leur lieu de travail, les navetteurs peuvent prendre un bus ou un taxi privé et peu polluant, louer un vélo ou continuer à pied. Le projet fait appel au téléphone portable des navetteurs pour rassembler les données relatives aux mouvements des passagers, lesquelles sont ensuite utilisées pour prévoir les conditions de transport et de circulation et les besoins en la matière. Au final, les navetteurs pourront vérifier en temps réel, sur leur téléphone, tous les aspects du système et, en fonction des conditions, choisir le mode de transport et l'itinéraire le plus efficace (Cherubal, 2008).

En Afrique du Sud, le projet SMART vise, en partie, à aider le pays à relever les défis que pose l'organisation de la Coupe du Monde de la FIFA en 2010 en matière de transports, mais également à améliorer les conditions de vie et de travail des citoyens du pays : ses responsables espèrent en effet que la mise en place d'un système de transports publics abordable et accessible contribuera à réduire la pauvreté et le chômage (South African Department of Transport, 2008).

En matière d'utilisation efficace des ressources, l'aviation est un cas à part dans le secteur des transports. Bien que l'on compte chaque année plus de 30 millions de vols (WTO, 2006) et que l'aviation ait représenté 11 % des émissions mondiales dues aux transports en 2006, elle n'a contribué qu'à moins de 2 % du total des émissions de gaz à effet de serre (IEA, 2008b ; IPCC, 1999). A la lueur de ces chiffres, on voit qu'à l'heure actuelle, les émissions dues au transport aérien ne contribuent que relativement peu au réchauffement de l'atmosphère ; cependant, leur impact est plus important car les émissions nocives sont directement injectées dans les couches supérieures de l'atmosphère (Kimber, 2007).

Les récentes attentions du public, la nature essentiellement optionnelle du voyage aérien et les fluctuations des prix du pétrole ont conjugué leurs effets pour faire de l'utilisation efficace des ressources l'une des premières priorités de l'industrie aéronautique. Les constructeurs d'avions testent actuellement des biocarburants à base d'algues tandis que les compagnies aériennes optimisent leurs plans de vols et les altitudes afin de réduire leur consommation de carburant. La mise à la retraite anticipée des appareils peu efficaces va également jouer un rôle important en termes d'écologie, surtout quand on sait que les nouveaux avions sont censés être 50 % plus efficaces par passager et par kilomètre. Toutes ces initiatives sont positives, mais la plupart d'entre elles ne feront une différence qu'à moyen ou long terme, et les améliorations restant encore possibles sont discutables (IEA, 2008b).

Certains acteurs du secteur aéronautique avancent que l'on pourrait obtenir des résultats plus rapides en donnant aux consommateurs l'occasion de formuler des choix plus informés lors de l'achat des billets. Au début

des années 2000, les vols étaient en moyenne à 20 % vides et la politique "un avion, une compagnie" entraînait la multiplication des appareils sur chaque ligne, particulièrement en Europe. Par ailleurs, les vols indirects émettent pratiquement 30 % de CO<sub>2</sub> en plus que les vols directs en raison de la multiplication des procédures d'atterrissage et de décollage. Près de 9 % des particules émises au cours d'un voyage peuvent l'être au sol, lorsque l'appareil se rend sur la piste ou la quitte ; il serait par conséquent possible de réaliser des économies considérables, tant en carburant et qu'en émissions, en faisant appel à des véhicules tracteur. Ces éléments sont pour la plupart inconnus des voyageurs ; la mise en place d'un écolabel attribué aux compagnies en fonction de leur efficacité écologique permettrait à ceux-ci faire des choix qui finiraient par pousser le marché à adopter les pratiques les plus efficaces (Kimber, 2007).

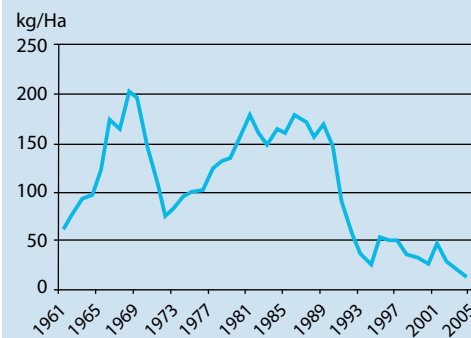
En réalité cependant, toutes ces mesures pourraient n'avoir qu'un impact limité : on estime que le nombre d'appareils commerciaux devrait passer de 18 000 en 2006 à 44 000 d'ici 2030. Une telle augmentation de la circulation aérienne pourrait en pratique annuler tout gain écologique préalablement engrangé (IEA, 2008).

### Nourriture : un monde de différence entre les deux bouts de la chaîne logistique

L'agriculture moderne consomme plus d'énergie pour produire de la nourriture que cette nourriture n'en contient au final (Stout and Best, 2001 ; FAO, 2003). Ce sont la viande et ses dérivés qui ont le plus grand impact écologique : on estime que la contribution des produits carnés au réchauffement de la planète représente 4 à 12 % de tous les produits alimentaires (Tukker et alii, 2006). La société civile, les entreprises et les gouvernements du monde entier prennent déjà des mesures pour utiliser plus efficacement les ressources dans la chaîne logistique alimentaire (voir Gestion des écosystèmes, chapitre 1).

Dans sa recherche d'un modèle plus viable en matière d'agriculture et de sécurité alimentaire, le monde ferait bien de tirer les leçons du passé récent de Cuba. Suite à la chute de l'Union soviétique en 1991, Cuba a entièrement abandonné son système conventionnel de monoculture à grande échelle et a désindustrialisé ses réseaux de production agricole et alimentaire. Avant cela, la production agricole du pays dépendait énormément des importations (subventionnées) d'engrais pétrochimiques, de pesticides, de carburant et de machines-outils (Raffensperger, 2008 ; FAO, 2003). Au cours de l'année précédent l'éclatement final de l'Union soviétique, la balance commerciale de Cuba a subi une perte de 80 % et a vu sa production agricole diminuer de moitié en raison de la disparition soudaine de presque 1,3 millions de tonnes d'engrais (Ewing, 2008). Cet effondrement a servi de catalyseur à un changement de politique radical qui allait mener à l'abandon des subventions à la production

Figure 3 : Utilisation des engrais chimiques à Cuba



Cuba a été obligé de renoncer à l'utilisation des engrais chimiques après l'éclatement de l'Union Soviétique.

Source : Earth Trends, 2008 ; FAOSTAT, 2008

agricole et à l'adoption d'un système d'exploitations de petite taille, à faible capital ayant recours à l'agriculture organique et à la lutte intégrée contre les nuisibles (Figure 3) (voir Substances nocives et déchets dangereux, chapitre 2).

Une nouvelle étude (la première à porter de manière systématique et empirique sur la transformation agricole radicale opérée par l'île) confirme que cette révolution agricole, urbaine et semi-organique a, contre toute attente, permis à Cuba d'éviter la crise alimentaire ; elle a également apporté des éléments essentiels à la compréhension des structures institutionnelles qui ont permis d'arriver à ce résultat et des vastes changements qu'il a fallu apporter à la dynamique de gestion (Wright, 2008). Aujourd'hui, Cuba jouit d'un système de production agricole prospère et pratiquement autosuffisant et, qui plus est, les Cubains sont devenus les leaders dans les domaines de la préservation des sols, des méthodes d'agriculture organique, des biopesticides et du vermicompostage (Wright, 2008). En remettant en question les stratégies conventionnelles de sécurité alimentaire, à savoir mondialisation et privatisation (et même si la démarche a procédé d'une nécessité et non d'un choix), Cuba a, en pratique, abattu les barrières politiques qui semblent freiner l'adoption de l'éco-agriculture durable.

### DU BERCEAU AU TOMBEAU

L'analyse du cycle de vie, c'est-à-dire l'inventaire des échanges et des impacts écologiques d'un produit tout au long de sa durée de vie, est un outil clé en matière d'écologie industrielle. Traditionnellement, elle analyse trois étapes de traitement, « du berceau au tombeau » : du berceau au portail d'entrée, (extraction des matières premières et raffinage) ; du portail d'entrée au portail de sortie (fabrication du produit) ; du portail de sortie au

tombeau (utilisation et élimination du produit) (USEPA, 2003). L'écologiste industriel examine chacune des étapes de traitement en vue d'en améliorer l'efficacité.

Jusqu'il y a peu, l'écologie industrielle et l'analyse du cycle de vie se cantonnaient principalement aux processus industriels. Aujourd'hui, cependant, on considère de plus en plus qu'elles peuvent être appliquées à l'ensemble de la chaîne logistique des biens matériels : l'extraction et le raffinage des richesses minérales, par exemple, sont des processus gourmands en énergie et enclins à générer des émissions de gaz, de liquides et de dérivés solides qui sont susceptibles de polluer... mais aussi de servir d'intrants à d'autres processus. L'application de ces deux disciplines à l'exploitation minière et au traitement des minerais est donc une évolution particulièrement logique (Pearce, 2007).

De tous les matériaux dont la société fait actuellement usage, les métaux possèdent le plus grand potentiel de recyclage, et ce, à l'infini. Si l'on considère leur cycle de vie total, leur durabilité et leur recyclabilité réduisent leur impact écologique au point parfois de le rendre inférieur à celui des matériaux non métalliques. En théorie, les métaux ont une durée de vie illimitée, mais ils ne sont pas renouvelables et ne sont disponibles qu'en quantité limitée. Les analyses suggèrent que nous sommes peu à peu en train d'arriver au point où détecter les résidus

métalliques à la surface de la terre afin de les recycler deviendra aussi rentable que de les extraire (Gerst et Graedel, 2008).

Une récente analyse du cycle de vie partiel (du berceau au portail de sortie) de six métaux fréquemment utilisés (le cuivre, le nickel, le plomb, l'aluminium, le titane, et l'acier/acier inoxydable) révèle certaines tendances qui méritent d'être prises en compte avec soin lors de l'élaboration des stratégies d'utilisation efficace des ressources : les métaux légers, à savoir le titane et l'aluminium, sont ceux qui ont, entre le berceau et le portail de sortie, le plus fort impact écologique en termes de besoins énergétiques bruts, d'effets potentiels sur le réchauffement atmosphérique et l'acidification ; l'acier et le plomb sont ceux qui ont le plus faible impact en la matière ; le nickel et le cuivre ont quant à eux le plus grand impact en termes de déchets solides, ce qui inclut les déchets miniers, les résidus d'extraction, les scories et les cendres de centrales électriques (Norgate et alii, 2007) (voir Substances nocives et déchets dangereux, chapitre 2).

En raison de l'augmentation de la demande de matières premières, les experts prévoient l'épuisement des minerais riches et l'amplification de l'impact écologique associé à l'extraction et au traitement des minerais plus pauvres ; il se pourrait donc qu'il faille

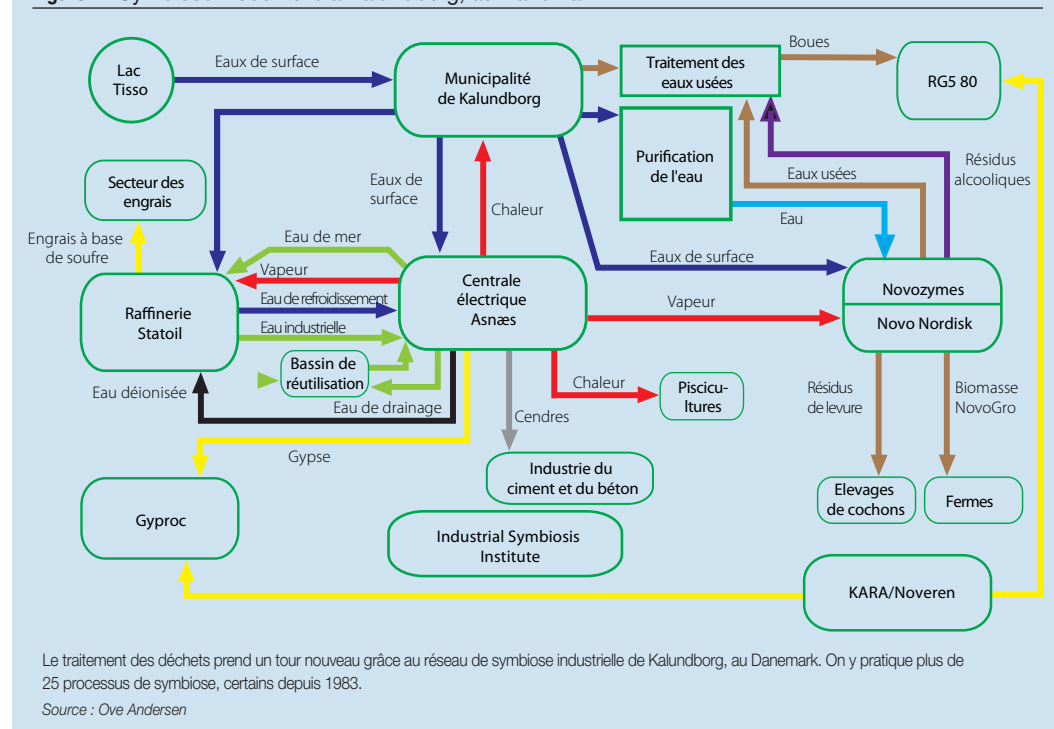
revenir sur les analyses existantes portant sur la totalité du cycle de vie. A l'avenir, il sera peut-être plus efficace de remplacer dans certains produits les métaux légers à fort impact écologique par des métaux plus lourds mais à plus faible impact, surtout si les produits en question ne sont pas des moyens de transport (Norgate et alii, 2007).

## Dématérialisation

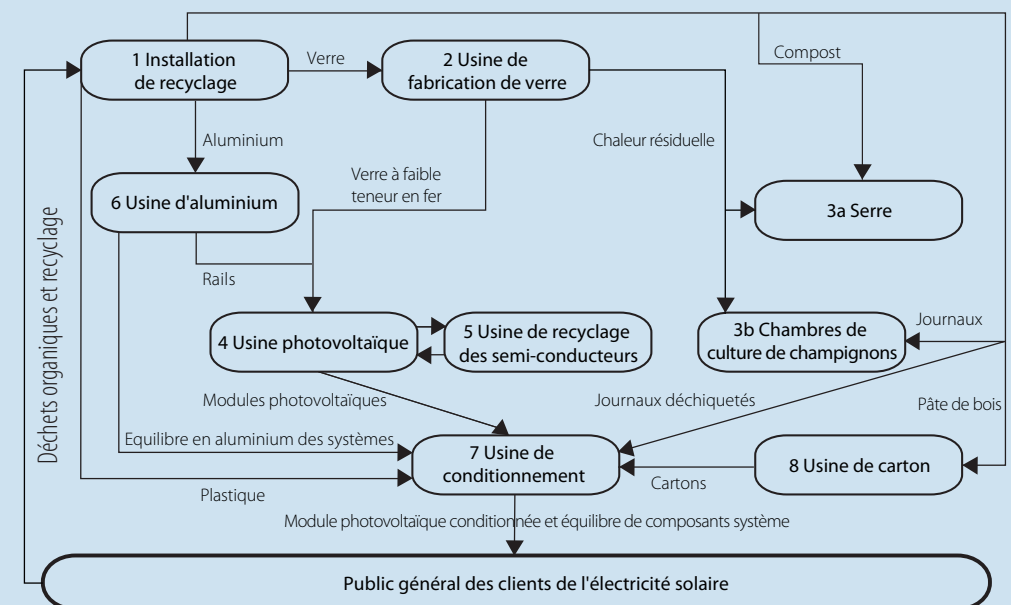
Certaines des améliorations qu'un écologiste industriel recherche lorsqu'il examine un processus de traitement impliquent la "dématérialisation" : quelles sont les étapes facultatives et que peut-on omettre ? Toutefois, la dématérialisation ne procède pas réellement de l'analyse formelle du cycle de vie, en ce sens qu'elle vise à identifier les améliorations encore non détectées alors que les conditions extérieures changent ou à repenser un processus quand une ressource devient plus onéreuse. Elle se produit également lorsqu'un acheteur informé choisit un produit ou un service moins gourmand en matériaux (dans un tel cas, opter pour un produit comportant plus d'emballage, par exemple, revient à marquer son dédain pour l'écologie). Inversement, la dématérialisation peut résulter de la décision d'un producteur de fournir en consommant moins : un fabricant de coton écri utilise moins de ressources et peut demander un prix plus élevé. L'objectif est d'obtenir plus en consommant moins ; certains chercheurs affirment que la dématérialisation pourrait bien être la clé qui permettrait enfin de dissocier le développement de la dégradation écologique et de mettre en place une économie respectueuse de l'environnement (Ausubel et Waggoner, 2008).

Autre élément qu'un écologiste industriel tentera de mettre en lumière lors d'une analyse du cycle de vie : les possibilités de symbiose des sous-produits, c'est-à-dire l'utilisation des déchets industriels d'un processus en tant que matières premières d'un autre. Une telle symbiose industrielle vise à créer des "boucles" au sein d'une entreprise ou entre plusieurs entreprises (Figure 4). Au Royaume-Uni, le National Industrial Symbiosis Programme implique plus de 8 000 entreprises et a permis d'éviter la mise en décharge de plus de 4,1 millions de tonnes de déchets professionnels. Il est également à l'origine de l'élimination de 351 000 tonnes de déchets nocifs, d'une économie de 9,3 millions de tonnes d'eau et de la non-utilisation de 6,34 millions de tonnes de matériaux vierges (voir Substances nocives et déchets dangereux, chapitre 2). Enfin, il a permis de réduire de 4,6 millions de tonnes les émissions de carbone, a généré 208 millions de dollars en nouvelles ventes pour ses membres, auxquels il a également fait épargner pratiquement 170 millions de dollars (NISP, 2008). De nombreuses villes, dont Chicago et Shanghai, ont récemment lancé de semblables projets

Figure 4 : Symbiose industrielle à Kalundborg, au Danemark



**Figure 5 : Production de cellules photovoltaïques respectueuses de l'environnement grâce à la symbiose industrielle**



Les boucles industrielles conçues selon les principes de la symbiose industrielle peuvent rendre les nouvelles technologies plus respectueuses de l'environnement. Un système unifiant les processus de huit usines serait ainsi un investissement public à moyen-terme, économiquement réalisable, qui permettrait promouvoir le photovoltaïque en tant que source d'énergie.

Source : Pearce, 2008

de symbiose industrielle, généralement avec la participation des pouvoirs publics et du secteur privé (Figure 5) (Managan et Olivetti, 2008).

### EAU : UN BESOIN URGENT DE MEILLEURS SYSTEMES

En 2008, pour la première fois, le rapport Planète Vivante inclut les statistiques relatives à l'empreinte eau mondiale, par pays et par individu (WWF, 2008). Il indique que chaque personne dans le monde consomme en moyenne 1,24 millions de litres d'eau chaque année, mais les disparités sont énormes : la consommation par personne atteint 2,48 millions de litres par an aux Etats-Unis, soit le double la moyenne, tandis qu'elle est de 619 000 litres par an au Yémen, soit environ la moitié. L'OCDE, dans ses Perspectives de l'environnement à l'horizon 2030, prévoit que 3,9 milliards de personnes habiteront dans une zone confrontée à un stress hydrique sévère, la plupart en Asie méridionale et en Chine (OECD, 2008), ce qui correspond à un milliard de personnes supplémentaire par rapport au niveau actuel. Dans la plupart des pays en développement et plus particulièrement dans les zones rurales d'Afrique et d'Asie, la demande en eau dépasse purement et simplement les ressources disponibles.

Un des principaux rapports publiés en 2008 confirme la probabilité d'une crise de l'eau si les tendances actuelles en termes d'environnement et de production alimentaire se poursuivent (voir Gestion des écosystèmes, chapitre 1 ; Changement climatique, chapitre 3 ; Désastres et conflits, chapitre 4). Pour beaucoup, elle est déjà là : aujourd'hui même, 879 millions de personnes, pour la plupart en milieu rural, ne «disposent» d'aucun accès adéquat à l'eau salubre et 2,5 milliards de personnes vivent dans un foyer sans système d'assainissement de base (Serageldin et Masood, 2008). Si les tendances actuelles se maintiennent, il faudra pour pouvoir espérer éviter une crise planétaire parvenir à réformer de toute urgence les politiques existantes en matière d'utilisation de l'eau, particulièrement dans le domaine de l'agriculture, qui est à elle seule responsable 70 % de la consommation mondiale. Le plus urgent est d'améliorer la production alimentaire partout où il pleut et, de manière générale, d'accroître la productivité hydrique (Serageldin et Masood, 2008).

Les politiques actuelles en matière d'eau se concentrent sur l'allocation de quotas de consommation et la gestion des flux d'eau de ruissellement, par lesquels on entend les écoulements de surface dans les rivières,

les lacs, les zones humides, les aquifères, les nappes phréatiques et les installations de stockage artificielles (Röckstrom et Barron, 2007). Hors, ce sont en réalité les précipitations qui s'infiltrent et restent dans le sol qui alimentent 80 % des terres cultivées dans le monde ; elles génèrent à elles seules 60 à 70 % de la production mondiale de nourriture (Serageldin et Masood, 2008). En l'absence de gestion des eaux de pluie, une pléiade de petits agriculteurs se retrouvent engagés dans une entreprise entièrement dépendante de la météo, avec tous les risques que cela comporte : en Afrique sub-saharienne, plus de 95 % de l'agriculture est alimentée par les pluies ; en Inde, ce chiffre s'élève toujours à 60 % malgré les avancées récentes en matière d'irrigation (Röckstrom et Barron, 2007). Dans la plupart de ces régions, tout manque d'eau à un moment critique de la période de croissance engendre automatiquement une chute chronique du rendement des cultures : dans les savanes, les rendements céréaliers n'atteignent en moyenne qu'à peu près 25 % de leur potentiel estimé. Ce faible rendement des cultures, associé à la forte fréquence des mauvaises récoltes, incite les agriculteurs à tout faire pour minimiser les risques plutôt qu'à tenter de maximiser leur rendement ; il n'encourage pas non plus à investir dans des techniques et technologies plus efficaces. Selon une évaluation menée en 2008 par l'International Water Management Institute, en l'absence d'une hausse radicale de la productivité hydrique, surtout dans le cas des récoltes pluviales, le monde aura besoin d'ici 2050 d'environ deux fois la quantité d'eau disponible actuellement (Molden, 2008).

Les modèles mathématiques et les études de terrain montrent que, si on les associe à la récupération des eaux de pluies aux fins de complément d'irrigation, les approches intégrées de l'agriculture sont à même



Femmes de Masai Mara, au Kenya, à côté de leur réservoir d'eau de pluie. Le captage de l'eau de pluie est une technique simple et bon marché qui se pratique depuis des centaines d'années. Statistiquement, l'Afrique stocke très peu d'eau par personne et par an, ce qui est inadapté à une économie dépendant essentiellement de l'agriculture. Source : Elizabeth Khaka/UNEP

d'augmenter considérablement les réserves d'eau disponibles pour les plantes et la capacité d'absorption hydrique de ces dernières (Röckstrom et Barron, 2007). Dans les régions semi-arides du sud de l'Inde, le simple apport de 50 millimètres d'irrigation en période sèche a permis d'accroître le rendement des récoltes de 70 à 120 % (Sivannapan, 1992). A Mwala, au Kenya, l'augmentation de la rétention d'eau de pluie pour la culture du maïs a engendré une hausse de 40 % du rendement des récoltes ; une irrigation supplémentaire, combinée à une série d'autres pratiques, a quant à elle permis de développer les rendements de 50 % sur une période de cinq ans par rapport aux pratiques conventionnelles (Röckstrom et Barron, 2007).

Des recherches supplémentaires sont nécessaires si l'on désire mieux comprendre les relations entre les récoltes, les sols, l'eau et les conditions atmosphériques au sein des systèmes agricoles pluviaux, mais les premiers travaux indiquent que l'on atteint les plus grands gains de productivité dans la plage des rendements les plus faibles (Serageldin et Masood, 2008 ; Röckstrom et Barron, 2007). Par conséquent, les politiques de gestion des ressources hydriques qui visent à améliorer l'accès à l'eau de pluie durant la période de croissance, par exemple via des investissements dans des installations de stockage, pourraient au final améliorer de manière durable les rendements agricoles, et donc les conditions de vie des personnes concernées.

Un autre secteur nécessitant des recherches plus spécifiques est celui de l'emploi et du traitement des eaux usées toxiques (**Encadré 4**). Dans les pays en développement, les eaux résiduaires urbaines sont une source importante d'eau pour l'irrigation ; si elles sont convenablement traitées, elles peuvent réduire de manière significative les coûts de fertilisation (Serageldin et Masood, 2008). Si elles ne le sont pas, par contre, elles contiennent des métaux lourds qui risquent de se retrouver dans la chaîne alimentaire et de provoquer de graves problèmes de santé publique, notamment des maladies cutanées ou des infections diarrhéiques (voir Substances nocives et déchets dangereux, chapitre 2). Il ressort d'une récente évaluation des eaux usées de 53 villes d'Afrique, d'Asie, d'Amérique latine et du Moyen-Orient que les populations de 80 % des villes examinées consomment des aliments cultivés à l'aide d'eaux usées contaminées (Raschid-Sally et Jayakody, 2008), une réalité dont les décideurs sont parfaitement au courant, mais qu'ils ne font pratiquement rien pour altérer (Serageldin et Masood, 2008).

## PROGRES ET CONSTRUCTIVITE

Dans son *Action Plan for Sustainable Consumption and Production*, le réseau Sustainable Consumption Research Exchange pose cinq questions qui auraient fait polémique

avant l'actuelle crise économique et la prise de conscience écologique moderne (SCORE, 2008) :

- Le marché est-il fondamentalement imparfait ?
- Devrions-nous chercher la décroissance ?
- Comment les marchés peuvent-ils contribuer à la justice et à l'équité ?
- Devons-nous accepter la souveraineté du consommateur si elle nuit à l'environnement ou à la société dans son ensemble ?
- Comment satisfaire notre aspiration au développement de manière dématérialisée ?

### Encadré 4 : Améliorer la gestion des eaux dans l'industrie

Bien que l'industrie emploie bien moins d'eau que l'agriculture, la part consacrée à la première augmente avec le niveau de revenus du pays, passant de 10 % de la consommation nationale dans les pays à niveau faibles et moyens à 59 % dans les pays à revenus élevés. Plusieurs pays de l'OCDE sont toutefois parvenus à dissocier utilisation de l'eau et croissance économique, essentiellement par l'amélioration des technologies et la conscientisation du public vis-à-vis de la préservation des ressources en eau. A moyen terme, la promotion de processus industriels plus efficaces représente la meilleure manière d'économiser l'eau ; il appartient donc aux gouvernements de prendre les mesures nécessaires pour améliorer l'efficacité hydrique et encourager la réutilisation des eaux usées ainsi que la collecte et l'emploi de l'eau de pluie.

Des études de cas publiées par le World Business Council for Sustainable Development montrent que de nombreux secteurs pourraient réaliser des économies d'eau substantielles en adaptant leurs processus de production. En Finlande, par exemple, une papeterie moderne a abandonné la pulpe chimique pour la pulpe thermo-mécanique et a bâti une installation de traitement biologique des eaux usées, deux initiatives qui ont permis à l'entreprise de réduire sa consommation en eau de plus de 90 % au cours des 20 dernières années. Un fabricant de textile indien a commencé à remplacer l'aluminium par le zinc dans ses tissus synthétiques ; il a ainsi diminué sa consommation en eau de 80 % et a pu fournir aux agriculteurs locaux des eaux usées plus propres pour l'irrigation. Une usine mexicaine de canne à sucre a amélioré sa politique d'entretien des locaux et a séparé ses systèmes d'eau de production et d'eaux usées ; elle a de ce fait restreint de 90 % sa consommation en eau.

Lorsque l'entreprise espagnole Obrascón Huarte Lain S.A. (OHL) a remporté le marché portant sur la gestion de 300 km d'autoroutes dans l'état brésilien de São Paulo, elle s'est engagée à le faire de manière à réduire l'impact du réseau routier sur le plus grand aquifère du monde. D'un volume estimé à plus de 40 000 km<sup>3</sup> d'eau, l'aquifère de Guarani s'étend sur plus de 1,2 millions de km<sup>2</sup> sous les frontières du Brésil, du Paraguay, de l'Uruguay et de l'Argentine. OHL a conçu les chaussées de façon à diriger l'eau vers 520 barrages de confinement répartis le long du réseau et disposant d'une capacité de stockage totale de 2 millions de m<sup>3</sup>. Ce système ralentit la vitesse des eaux de ruissellement, ce qui leur permet de s'infiltrer lentement dans le sol et d'alimenter l'aquifère. OHL ne tire aucun bénéfice direct des barrages, mais réalise des économies substantielles en termes d'entretien des routes ainsi qu'en évitant les plus gros lavages.

Source : Molden, 2008 ; WBCSD, 2008

• Comment maintenir le juste équilibre entre les entreprises, les consommateurs et le gouvernement ?

Une approche connue sous le nom de "stratégie de la suffisance" ou "économie de la suffisance" vise à réduire considérablement la consommation globale en convaincant les producteurs et les consommateurs d'agir en fonction de leurs besoins et non de leurs désirs. Etant donné qu'il est peu probable que des réactions aussi altruistes émergent spontanément chez les consommateurs, les partisans de cette approche soutiennent que c'est aux gouvernements qu'il appartient de prendre les mesures nécessaires pour influencer les comportements des producteurs et des consommateurs (Alcott, 2008).

### La Chine relève le défi

En 2008, l'Assemblée nationale populaire chinoise a adopté la "Loi sur l'économie circulaire de la République Populaire de Chine", qui entrera en vigueur au 1er janvier 2009. L'économie circulaire vise à encourager les symbioses industrielles et les échanges de matériaux plutôt que la consommation directe (Pintér, 2006).

Cette nouvelle loi définit les responsabilités des divers niveaux de l'administration en matière de promotion de l'économie circulaire, leur confère une série de pouvoirs à exercer en cas de non-respect et appelle toutes les parties à s'engager dans des activités favorisant ce type d'économie ; elle rend de ce fait chacun responsable et partie prenante de l'économie circulaire (Squires et alli, 2008).

En complément de ces efforts, la Chine développe actuellement un système de labellisation permettant de représenter la quantité de ressources consommées par chaque produit et publiera un catalogue répartissant chaque technique, équipement, matériau et produit dans trois catégories : "encouragé", "restreint" ou "interdit".

En cas d'emploi d'un article de la catégorie "interdit", le gouvernement a le droit de confisquer l'équipement ou le matériau, d'infliger une amende pouvant atteindre 30 000 dollars ou de fermer une entreprise. En cas d'importation d'un article interdit, celui-ci doit être renvoyé, éventuellement accompagné d'une amende de 150 000 dollars. Si l'importateur n'est pas identifiable, le transporteur peut être tenu responsable du renvoi de l'article ou du paiement des éventuels frais d'élimination de celui-ci. Enfin, aucune institution financière n'est autorisée à offrir un crédit (quelle qu'en soit la forme) de soutien à une entreprise productrice, importatrice, distributrice ou utilisatrice d'articles de la catégorie "interdit".

Les analystes juridiques internationaux voient dans cette loi l'annonce d'une politique de prise en compte du développement durable de la part de la Chine. Elle risque toutefois de n'avoir que peu d'effets si elle ne reste qu'à l'état de déclaration politique : on peut en effet constater qu'elle ne mentionne aucun calendrier pour la mise en œuvre des réformes qu'elle propose, et il est généralement



accepté que les autorités provinciales et locales continueront à préférer le développement à l'environnement ainsi qu'à étouffer tout effort populaire susceptible de remettre en question leur autorité (McElwee, 2008).

Cependant, si la Chine parvient à appliquer avec succès son concept d'économie circulaire, il pourrait bien là s'agir d'un précédent qui mènerait à la définition de nouvelles normes de productivité et de compétitivité à l'échelle mondiale (Pintér, 2006). Pour évaluer si la Chine atteint ou non ses objectifs, le Comité national chinois du développement et de la réforme travaille actuellement, avec diverses agences, à la mise au point d'une série d'indicateurs qui permettront de mesurer les flux d'énergie et de matériaux ainsi que d'améliorer la compréhension de deux aspects de l'économie circulaire : l'impact écologique collectif de la production et de la consommation de matériaux, d'une part, et le taux d'efficacité physique auquel l'économie transforme les matières premières en produits utiles, et ce, en générant le moins de déchets possible, d'autre part (Pintér, 2006).

Le modèle économique circulaire considère l'économie comme intégrée aux systèmes biophysiques et géophysiques de la Terre et reconnaît le fait que l'économie dépende doublement d'eux : premièrement, pour l'obtention des matières premières nécessaires à la production, et, deuxièmement, pour l'absorption ou le traitement des déchets qui résultent de la production et de la consommation (McElwee, 2008 ; Ayers et Simmons, 1994 ; Robert et Eriksson, 1991).

## CONCLUSION

Pour vivre durablement, nous devons gérer les ressources selon les conditions de la nature et à l'échelle de la nature (WWF, 2008). Cela signifie que les décisions dans chaque secteur, comme l'agriculture ou la pêche, doivent être prises avec une vue sur les conséquences écologiques à plus grande échelle. Cela signifie également que nous devons trouver les moyens de les gérer au-delà de nos propres frontières – les limites de propriété comme les frontières politiques – de manière à prendre soin de l'écosystème dans son ensemble.

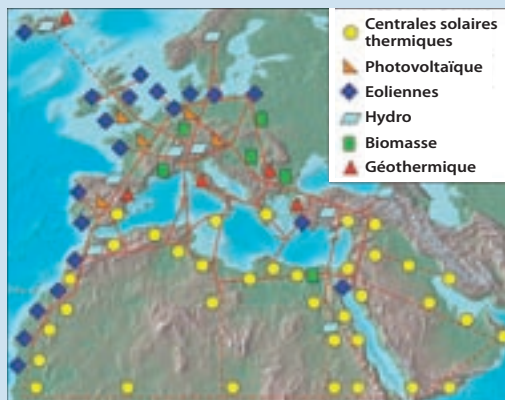
Les êtres humains, les sociétés humaines et l'économie humaine font partie intégrante de l'économie des systèmes de la Terre : la géosphère, la biosphère, l'atmosphère et les écosystèmes qui les unissent en un tout cohérent. Si nous parvenons à comprendre comment ces systèmes fonctionnent, génèrent les ressources et en recyclent les sous-produits, nous apprendrons à vivre avec la nature plutôt que de lutter contre elle (**Encadré 5**).

Le système chinois de la digue-étang a évolué au cours des deux mille dernières années, perfectionné par génération après génération par les agriculteurs jusqu'à devenir un système d'économie circulaire intégrant agriculture intensive et culture de carpe et d'autres poissons d'eau douce. Il repose sur la maximisation des relations entre la terre et l'eau, l'optimisation de l'utilisation des ressources et la minimisation des déchets.

Source : M. Harvey/Still Pictures



### Encadré 5 : La Terre et ses systèmes énergétiques naturels



Vision d'un réseau électrique multisource en Afrique du Nord, Moyen-Orient et Europe

Source : TREC

En 2000, le potentiel total de l'énergie éolienne mondiale était d'environ 72 000 gigawatts, soit près de cinq fois le total des besoins mondiaux en énergie et sept fois les besoins en électricité. En une heure, il tombe sur Terre suffisamment de rayonnement solaire pour satisfaire la consommation annuelle de l'ensemble de l'espèce humaine. Avec un peu de recul, nos inquiétudes en matière d'énergie peuvent sembler insignifiantes : le véritable défi concerne l'exploitation de toute cette puissance.

Le vent et l'énergie solaire sont particulièrement attrayants car il s'agit de sources d'énergie renouvelables, disponibles en grande quantité et ne pouvant être soumises aux caprices de cartels : une fois les turbines, les miroirs ou les panneaux installés, le seul carburant qu'ils consomment provient directement de la nature et les seules sources de pollution, qu'il s'agisse de gaz à effet de serre ou de substances dangereuses, de leur fabrication. Ce chapitre sur le rendement des ressources a montré que les principes de l'écologie industrielle (biomimétisme, symbiose, dématérialisation, etc.) pouvaient servir à accroître l'efficacité énergétique, comme le démontrent la ventilation de l'Eastgate Building, la fabrication panneaux solaires respectueux de l'environnement ou la réutilisation des excédents thermiques dans les piscicultures danoises. Ils peuvent également servir à la production d'énergie.

Le désert du Sahara pourrait devenir une source d'énergie fiable pour l'Europe. En novembre 2007, le Parlement européen a étudié pour la première fois une proposition présentée par la Trans-Mediterranean Renewable Energy Corporation visant à établir un réseau de sources d'énergie renouvelable. Un investissement de 400 milliards de dollars sur trente ans permettrait de construire dans le désert des centrales électriques qui assureraient les deux tiers des besoins en énergie de l'Afrique du Nord et du Moyen-Orient ainsi qu'une bonne partie de ceux de l'Europe d'ici 2050. En plus de fournir de l'énergie aux nations partenaires et de réduire les émissions de carbone, il serait également possible de récupérer l'excédent thermique des centrales pour le dessalement : chaque centrale doit en effet être refroidie ; si l'on utilise pour ce faire de l'eau de mer, il est possible de la dessaler pour peu que l'ensemble soit correctement conçu et fasse appel aux principes de rendement des ressources.

Le projet va bien au-delà de l'énergie solaire et fait également appel à des éoliennes, des centrales hydroélectriques et à la biomasse. Un certain nombre d'évolutions rapproche peu à peu ces visions de la réalité : le changement climatique est certainement l'une des plus motivantes.

Sources : Archer et Jacobson, 2004 ; Gramling, 2008 ; The Economist, 2008 ; TREC, 2008

## RÉFÉRENCES

- Alcott, B. (2008). The sufficiency strategy: Would rich-world frugality lower environmental impact? *Ecological Economics* 64 (4): 770-786
- Appleton, M. (2008). Move over Velib, Autolib is on its way. *Bikeradar.com* <http://www.bikeradar.com/commuting/news/article/move-over-velib-autolib-is-on-its-way-17274> [Accessed 20 November 2008]
- Archer, C. L., and M. Z. Jacobson (2005). Evaluation of global wind power, *J. Geophys. Res.* 110, D12110, doi:10.1029/2004JD005462.
- ASCE (2005). *Report Card 2005*, American Society of Civil Engineers, Reston, Virginia
- Ausubel, J. H. and Waggoner, P. E. (2008). Dematerialization: Variety, caution, and persistence. *PNAS*. 105(35), 12774-12779. <http://phe.rockefeller.edu/docs/PNAS-2008-Ausubel-0806099105.pdf>
- Ayers, R.U. and Simonis, U.E., eds. (1994). *Industrial Metabolism: Restructuring for Sustainable Development*, United Nations University Press, Tokyo
- Biomimicry Guild (2008). *Case Studies in Biomimicry*, Biomimicry Guild. <http://www.biomimicryinstitute.org/case-studies/case-studies/> [Accessed 8 October 2008]
- Cherubal, R. (2008). *New Mobility Hubs in Chennai*. Sustainable Mobility and Accessibility Research and Transformation. [http://um-smart.org/project\\_research/New\\_Mobility\\_Hubs\\_Chennai.pdf](http://um-smart.org/project_research/New_Mobility_Hubs_Chennai.pdf) [Accessed December 2008]
- Constantinides, G., and Ullm, F.-J., (2007). The nanogranular nature of C-S-H, *J. Journal of the Mechanics and Physics of Solids*, 55(1), 64-90, Elsevier Science, Amsterdam
- CSI 2008. Cement Sustainability Initiative. The World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) Cement Home. <http://www.wbcscement.org/> [accessed 30 Dec 2008]
- Earth Trends (2008). Earth Trend Environmental Information: Agriculture and Food Searchable Database. [http://earthtrends.wri.org/searchable\\_db/index.php?theme=8](http://earthtrends.wri.org/searchable_db/index.php?theme=8) [Accessed 3 December 2008]
- Economist (2008). Wind of Change. *The Economist*, December 4, [http://www.economist.com/science/tq/displaystory.cfm?story\\_id=12673331](http://www.economist.com/science/tq/displaystory.cfm?story_id=12673331) [Accessed 10 December]
- Ewing, E. (2008). Cuba's organic revolution. *Guardian News*, Friday 4 April 2008 <http://www.guardian.co.uk/environment/2008/apr/04/organics.food?gusrc=rss&feed=networkfront> [Accessed 10 November 2008]
- Fairley, P. (2008). Paris Pursues Electric Car Sharing: Remember MIT's stackable City Cars? Paris is writing the business plan. *Technology Review*, Published by MIT Massachusetts Institute of Technology, Monday, December 15, 2008 <http://www.technologyreview.com/blog/editors/22462/> [Accessed 20 December 2008]
- FAO (2003). Fertilizer use by crop in Cuba. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Land and Plant Nutrition Management service, Rome
- FAOSTAT (2008). FertiStat - Fertilizer Use Statistics. FAO Plant Production and Protection Division. Food and Agriculture organization of the United Nations, Rome <http://faostat.fao.org/site/575/default.aspx#ancor> [Accessed 1 December 2008]
- Geopolymer Institute (2008). The Geopolymer Institute Online Library. <http://www.geopolymer.org/category/library> [Accessed 12 December 2008]
- Gerst, M.D. and Graedel, T.E. (2008). In-Use Stocks of Metals: Status and Implications. *Environmental Science and Technology*, 42(19): 7038-7045 DOI:10.1021/es800420p
- Gramling, C. (2008). Desert Power: A Solar Renaissance, *Geotimes*, April 2008 [http://www.geotimes.org/apr08/article.html?id=feature\\_solar.html](http://www.geotimes.org/apr08/article.html?id=feature_solar.html) [Accessed 10 May 2008]
- IEA (2006). *World Energy Outlook 2006*, OECD/International Energy Agency, Paris <http://www.worldenergyoutlook.org/2006.asp> [Accessed 21 November 2008]
- IEA (2008a). *World Energy Outlook 2008*, OECD/International Energy Agency, Paris <http://www.worldenergyoutlook.org/2007.asp> [Accessed 21 November 2008]
- IEA (2008b). *Energy Technology Perspectives 2008: Scenarios and Strategies to 2050*, OECD/International Energy Agency, Paris
- IPCC (1999). *Special Report: Aviation and the Atmosphere*, Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva
- IPCC (2007). *Climate Change 2007. Mitigation*. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, US
- ISI (2008). Industrial Symbiosis in Kalundborg Denmark. <http://www.symbiosis.dk/industrial-symbiosis.aspx> Industrial Symbiosis Institute. [Accessed 10 December 2008]
- Kimber, H. (2007). *Flight Plan: Taking Responsibility for Aviation Emissions*, The Carbon Consultancy, commissioned by the International Institute for Environment and Development (IIED). <http://www.iied.org/pubs/pdfs/17019IIED.pdf> [Accessed 19 October 2008]
- Managan, A., and Olivetti, E (2008). *By-product Synergy Networks: Driving Innovation through Waste Reduction and Carbon Mitigation*, US Business Council for Sustainable Development. <http://usbcscd.org/resources/documents/Clean%20Tech%20BPS%20Networks.pdf> [Accessed October 2008]
- McGraw-Hill Construction Analytics (2008). *Global Green Building Trends*, McGraw-Hill, Columbus, Ohio
- McEwee, C. (2008). Who's Cleaning Up This Mess? Rising environmental awareness is affecting business in China. *China Business Review*, January-February, <http://www.chinabusinessreview.com/public/0801/mcewee.html>
- Medina, M. (2007). *The World's Scavengers: Salvaging for Sustainable Consumption and Production* AltaMira Press, Lanham, Maryland, USA
- Molden, D., ed. (2007). *Water for Food, Water for Life: A Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture*, International Water Management Institute, Earthscan, Sterling
- NISP (2008). *About NISP - Approach & Achievements*. National Industrial Symbiosis Programme. [http://www.nisp.org.uk/about\\_us\\_approach.aspx](http://www.nisp.org.uk/about_us_approach.aspx) [Accessed December 2008]
- Norgate, T.E., Jahanshahi, S., and Rankin, W.J. (2007). Assessing the environmental impact of metal production processes, *Journal of Cleaner Production*, 15(8-9), 838-48
- OECD (2008). *OECD Environmental Outlook to 2050*, Organisation for Economic Co-operation and Development, Paris
- Pearce, J.M. (2007). Green Production and Industry, in P. Robbins (Eds), *Encyclopedia of Environment and Society*. Sage Publications, Inc. 2007
- Pearce, J (2008). Industrial symbiosis of very large-scale photovoltaic manufacturing, *Renewable Energy*, 33(6), 1101-1108
- Peter, V. (2006). *Eco-Industries Scoring Paper*, Europe Innova. <http://www.europe-innova.org/servelet/Doc?cid=60058&lg=EN> [Accessed 19 November 2008]
- Pintér, L. (2006). *International Experience in Establishing Indicators for the Circular Economy and Considerations for China*, International Institute for Sustainable Development (IISD). [http://www.iisd.org/pdf/2006/measure\\_circular\\_economy\\_china.pdf](http://www.iisd.org/pdf/2006/measure_circular_economy_china.pdf) [Accessed 21 October 2008]
- Raffensperger, L. (2008). Changes on the Horizon for Cuba's Sustainable Agriculture. *World Resources Institute*. <http://earthtrends.wri.org/updates/node/306> [Accessed 12 November 2008]
- Raschid-Sally, L. and Jayakody, P. (2008). Drivers and characteristics of wastewater agriculture in developing countries – results from a global assessment. *Comprehensive Assessment for Water Management in Agriculture Program of the International Water Management Institute*, Sri Lanka
- Robert, K.-H. and K.-E. Eriksson (1991). From the Big Bang to sustainable societies, *Reviews in Oncology*, 4(2), 5-14
- Röckström, J. and Barron, J. (2007). Water productivity in rain-fed systems: Overview of challenges and analysis of opportunities in water scarcity prone savannahs, *Irrigation Science*, 25(3): 299-311
- SCORE (2008). *Sustainable Consumption and Production: A Framework for Action*, draft discussion paper, Sustainable Consumption Research, Delft
- Serageldin, E. and Masood, I. (2008). Water for a growing planet. Draft report - Bibliotheca Alexandrina, Alexandria, Egypt
- Svannapan, R.K. (1992). *Status Report on Drip Irrigation in India*, report prepared for the Indian National Committee on Irrigation and Drainage, New Delhi
- South African Department of Transport (2008). *2010 World Cup Transport Projects*, South African Department of Transport. <http://www.transport.gov.za/2010/DefaultPages/Homedefault.asp> [Accessed 29 October 2008]
- Squire, Sanders & Dempsey, LLP (2008). *Circular Economy Law of the People's Republic of China* (unofficial translation), Squire, Sanders & Dempsey, Beijing. <http://www.chinaenvironmentallaw.com/wp-content/uploads/2008/09/circular-economy-law-cn-en-final.pdf> [Accessed 24 October 2008]
- Stout, B.A. and Best, G. (2001). Effective Energy Use and Climate Change: Needs of Rural Areas in Developing Countries. *Agricultural Engineering International: the CIGR Journal of Scientific Research and Development*. Presented at the First State Forum on Agriculture, Energy and the Environment, at the Centro Universitario Vinculacion con el Entorno, Silao, Guanajuato, Mexico. Invited Overview Paper. Vol. III
- Tukker, A., Huppes, G., Heijungs, R., de Koning A., van Oers, L., Suh, S., Geerken, T., Van Holderbeke, M., Jansen, B., and Nielsen, P. (2006). *Environmental Impacts of Products (EIPRO)*, European Commission, Brussels
- TREC (2008). Solar Plan: Union for the Mediterranean. <http://www.desertec.org/downloads/solarplan.pdf> [Accessed 15 December 2008]
- UNEP (2008). *UNEP Thematic Priority on Resource Efficiency – Sustainable Consumption and Production: Looking Forward to 2010-2013* (draft 4, 2 July 2008). Internal Document. United Nations Environment Programme, Nairobi
- USEPA (2003). *Tools for the Reduction and Assessment of Chemical and Other Environmental Impacts (TRACI): User's Guide and System Documentation*, US Environmental Protection Agency, Washington DC
- WBCSD (2001). *Mobility 2001: World Mobility at the End of the Twentieth Century and Its Sustainability*, World Business Council for Sustainable Development, Geneva. [http://www.wbcscd.org/web/projects/mobility/english\\_full\\_report.pdf](http://www.wbcscd.org/web/projects/mobility/english_full_report.pdf) [Accessed 9 October 2008]
- WBCSD (2007). *Energy Efficiency in Buildings: Business Realities and Opportunities*, World Business Council for Sustainable Development, Geneva
- WBCSD (2008). *Case studies*. World Business Council for Sustainable Development. <http://www.wbcscd.org/templates/TemplateWBCSD5/layout.asp?type=p&MenuId=ODY&doOpen=18&ClickMenu=RightMenu> [Accessed September-November 2008]
- Worrell, E., Price, L., Martin, N. Hendriks, C., and Ozawa, M. L. (2001). Carbon dioxide emissions from the global cement industry, *Annual Review of Energy and the Environment*, 26, 303-29, Annual Reviews, Palo Alto, CA.
- WRAP (2008). How do you measure up? WRAP launches major new voluntary initiative to halve waste landfill, press release, Waste Resource & Action Programme. [http://www.wrap.org.uk/wrap\\_corporate/news/how\\_do\\_you\\_measure.html](http://www.wrap.org.uk/wrap_corporate/news/how_do_you_measure.html) [Accessed 2 November 2008]
- Wright, J. (2008). Sustainable Agriculture and Food Security in an Era of Oil Scarcity: Lessons from Cuba. *Earthscan Publications*, November 2008, 256 p
- WTO (2006). see [www.world-tourism.org](http://www.world-tourism.org), World Tourism Organization. [Accessed 18 October 2008]
- WWF (2008). *Living Planet Report 2008*, World Wildlife Foundation, Geneva
- Zielinski, S. (2008). *New Mobility: The Next Generation of Sustainable Urban Transportation*, University of Michigan, Ann Arbor. [http://um-smart.org/project\\_research/New\\_Mobility\\_Hubs\\_Chennai.pdf](http://um-smart.org/project_research/New_Mobility_Hubs_Chennai.pdf) [Accessed November 2008]

# Gouvernance environnementale

Les êtres humains, les sociétés humaines et l'économie humaine font partie intégrante des systèmes de la Terre et de leur économie : la géosphère, la biosphère, l'atmosphère et les écosystèmes qui les unissent en un tout cohérent. La gestion de cette intégration est l'un des plus grands défis du 21<sup>e</sup> siècle.



Les jardins communautaires offrent aux citoyens l'occasion de cultiver leurs propres aliments. Cette petite parcelle se trouve sur la rive nord du Danube, près de la ville de Donaustauf, en Bavière. *Source : Klaus Leidorf*

## INTRODUCTION

Les écosystèmes de la planète sont en danger. 20 % des terres ont été significativement dégradés par les activités humaines et 60 % des écosystèmes sont maintenant endommagés ou menacés. Il est irréfutable que nous surexploitions les ressources naturelles et que nous créons plus de déchets que les écosystèmes ne peuvent en traiter (voir Gestion des écosystèmes, chapitre 1).

Les produits chimiques que nous utilisons pour produire de l'énergie, éliminer les nuisibles, améliorer notre productivité, catalyser les processus industriels et répondre à nos besoins en matière de soins de santé, sans même parler des produits chimiques que nous rejetons purement et simplement, continuent à affaiblir l'écosystème et à mettre en péril notre santé (voir Substances nocives et déchets dangereux, chapitre 2).

Les changements climatiques amènent nombre des systèmes de la planète, de ses équilibres écologiques régionaux et mondiaux, au seuil de la rupture et menacent déjà à plusieurs niveaux la stabilité du monde. Plus alarmant encore, il est possible que notre civilisation actuelle ait déjà franchi plusieurs points de non-retour (voir Changement climatique, chapitre 3).

Ces dernières décennies, la menace croissante du changement climatique s'est démontrée par le nombre et la sévérité des orages, des inondations et des sécheresses, qui a subi une augmentation significative alors que le nombre moyen de tremblements de terres, aussi dévastateurs soient-ils, est resté constant. Les nouveaux conflits, de même que les conflits existants, sont bien souvent à la fois le résultat et la cause de dégradations écologiques (voir Désastres et conflits, chapitre 4).

La mauvaise gestion, qu'elle soit industrielle ou environnementale, n'est pas indissociable du développement : il existe des outils destinés à réduire la surexploitation et la pollution, et il est possible de servir le bien public et de créer des communautés saines tout en appliquant les principes de l'écologie industrielle comme l'analyse des cycles de vie et la symbiose industrielle (voir Rendement des ressources, chapitre 5).

Les êtres humains, les sociétés humaines et l'économie humaine font partie intégrante des systèmes de la Terre et de leur économie : la géosphère, la biosphère, l'atmosphère et les écosystèmes qui les unissent en un tout cohérent. La gestion de cette intégration est l'un des plus grands défis du 21<sup>e</sup> siècle.

Pendant la révolution industrielle et à l'époque moderne, le développement industriel s'est toujours accompagné d'une dégradation de l'environnement,

mais il est aujourd'hui possible (et indispensable) de mettre un terme à cette relation : nous avons besoin d'une gouvernance environnementale ferme, informée et éclairée. Le système économique qui a encouragé la surexploitation des ressources naturelles et la production de déchets est en train de subir une refonte complète ; c'est le meilleur moment pour faire en sorte que le système économique suivant ne répète pas les mêmes erreurs.

## ATTEINDRE LES OBJECTIFS DU MILLENAIRE POUR LE DEVELOPPEMENT

D'après le Rapport de suivi mondial 2008 sur le progrès des Objectifs du millénaire pour le développement, nous sommes à mi-chemin de l'échéance de 2015 fixée pour atteindre lesdits objectifs. Ce rapport indique qu'il est urgent de prendre des mesures pour combattre le changement climatique qui menace le bien-être de tous, mais plus encore les plus démunis et les pays pauvres. Il souligne également que les objectifs de développement et de durabilité écologique sont intimement liés et que les voies permettant de les atteindre autorisent des synergies importantes (World Bank, 2008).

A la lueur du ralentissement économique mondial actuel, on se pose la question des priorités : les objectifs relatifs à l'environnement et au développement vont-ils se perdre au sein du nouveau paradigme économique ? La réunion de haut niveau des Nations Unies qui s'est tenue au mois de septembre a heureusement été marquée par un réengagement des Etats membres en faveur des ODM (UN, 2008a). A la fin du mois de décembre, les Etats membres participant à la Conférence sur le financement du développement pour le suivi de la mise en œuvre du Consensus de Monterrey ont accepté de ne pas réduire l'aide au développement à cause de la récession actuelle. Lors de cette conférence, l'Union européenne a promis que tous ses membres fourniraient à l'aide officielle au développement et d'ici 2015 les 0,7 % du produit intérieur brut que les pays de l'OCDE s'étaient engagés à verser en 1970. Depuis lors, seuls le Danemark, le Luxembourg, la Norvège, les Pays-Bas et la Suède ont atteint ce chiffre (et l'ont en fait dépassé) (UN, 2008b ; OECD, 2008). Malgré cet engagement renouvelé de la part de certains pays de l'OCDE, les Objectifs du millénaire risquent toujours d'être remis en cause par les problèmes écologiques les plus imminents ; ce qui rend d'autant plus essentielle une gouvernance environnementale responsable.

### Des pressions qui devraient s'accroître

Etant donné que nous avons persisté à suivre la politique de l'autruche, le nombre de personnes souffrant de la famine ou dont les revenus sont inférieurs à 1 dollar par jour ne sera pas divisé par deux entre 1990 et 2015, comme le prévoient initialement les ODM. Le taux de

perte de la biodiversité dans le monde ne diminuera pas d'ici 2010. L'impact du changement climatique ne restera pas dans les limites consenties. Et les objectifs en matière de fourniture d'eau et surtout d'assainissement seront presque impossibles à atteindre (UNDP, 2008 ; UNFCCC, 1992 ; World Bank, 2008).

Par ailleurs, les limitations écologiques à venir sont aggravées par des pressions supplémentaires : la croissance de la population mondiale, les aspirations matérielles de celle-ci et les ressources naturelles qui sont et seront exploitées pour répondre à ces aspirations ont des implications majeures en termes de santé des écosystèmes, d'utilisation des sols et de consommation d'énergie.

Le défi consiste donc à satisfaire ces aspirations tout en assurant la pérennité de l'environnement (UN, 2004 ; UN, 2006a). Il est impossible de tracer des courbes de population ou de concevoir des méthodes visant à minimiser les effets de sa croissance sur les ressources sans tenir compte des contraintes écologiques, inévitables, ou des changements que les activités humaines ont déjà mis en mouvement.

On peut répondre à ces aspirations avec moins de matériaux : le passage à la dématérialisation de la consommation pourrait permettre de dissocier le développement de l'exploitation des ressources et de la dégradation écologique qui l'accompagne (Ausubel et

Waggoner, 2008).

## Avancées dans la compréhension des systèmes de la Terre

Les modèles de processus mis en avant par les théories des systèmes et du chaos et qui ont été appliqués aux divers écosystèmes de la planète ces deux dernières décennies montrent toute l'importance de comprendre la dynamique des systèmes de la Terre.

Une partie de cette compréhension implique la tendance du système Terre et de ses écosystèmes à atteindre des seuils critiques, à changer de régime, à osciller ou à réagir aux changements de conditions en changeant de phase, parfois de manière irréversible en temps humain (Scheffer et alii, 2001).

Les glaces de la Terre, par exemple, subissent actuellement un changement de phase classique : elle est en cours d'ablation, c'est à dire qu'elle fond (se transforme en eau) et se sublime dans l'atmosphère. Des particules qui étaient devenues aéroportées à l'époque des mines de plomb sous l'Empire romain sont ensuite tombées dans les glaciers et, aujourd'hui, repassent dans l'environnement en raison de la fonte des glaces (Branan, 2008). Même si nous cessions aujourd'hui d'émettre le moindre gaz à effet de serre, il faudrait à cette glace 50 générations humaines pour se réaccumuler, à supposer qu'elle ne le fasse jamais. Les effets du changement climatique sur la distribution et l'adaptation des espèces risquent d'engendrer une transition tout aussi radicale chez les écosystèmes et les services qu'ils assurent (**Figure 1**) (voir Gestion des écosystèmes, chapitre 1).

Les spécialistes en évolution des écosystèmes suggèrent que la probabilité d'un changement de régime est augmentée par la baisse de leur résistance : le ralentissement critique du rétablissement d'un système suite à une petite perturbation est généralement annonciateur de l'approche d'un seuil critique (Van Nes et Scheffer, 2007). Un tel ralentissement a fait l'objet d'une démonstration dans le cadre d'un modèle de circulation thermohaline à l'approche d'un seuil critique (Held et Klien, 2004).

Début 2008, une étude a introduit le concept "d'éléments clés" dans les débats sur les brusques changements induits par le climat : ces éléments clés sont des composants à grande échelle des systèmes de la planète qui, passé un certain point, font montre d'une capacité à changer brutalement (Lenton et alii, 2008). Auparavant, la majeure partie des travaux sur les seuils critiques provenait des observations et des expérimentations à l'échelle d'écosystèmes de la taille d'un lac, d'une savane ou d'un bief. Aujourd'hui, on applique ces concepts à des échelles de mille kilomètres et plus, et étudie les conditions affectées par le changement climatique (**Encadré 2**).

### Encadré 1 : Une parabole ?

L'histoire suivante a été racontée à l'occasion d'un congrès sur les migrations et l'environnement tenu en 2007 : elle se passe dans un pays dont le nom n'est pas mentionné...

"...". L'agriculture y joue un rôle extrêmement important, du fait d'une croissance démographique exponentielle. Chaque femme a entre douze et seize enfants, cette forte natalité exerçant une importante pression sur l'écosystème, malgré les programmes gouvernementaux mis en place afin de combattre la dégradation de l'environnement.

Par le passé, les arbres qui poussaient sur les terres agricoles étaient la propriété de l'Etat : les fermiers n'avaient donc pas de motivation à les protéger. Après beaucoup de discussions, le gouvernement a choisi de transférer la propriété des arbres aux exploitants, leur nombre s'est ainsi multiplié. Désormais, les arbres sont protégés et les populations peuvent récolter du bois, des fruits et d'autres produits. En contrepartie, les arbres permettent de retenir l'eau, contribuent à prévenir le changement climatique et protègent les terres agricoles de l'érosion.

Toutefois, le taux de natalité élevé de la population a pour effet d'annuler la capacité de production de l'écosystème. Si on observe les progrès réalisés du point de vue strictement environnemental, séparément des données démographiques, alors la région est un modèle à suivre. Si on considère le système social, il est difficile de juger les progrès environnementaux comme suffisants. De fait, si la dynamique entre les deux facteurs est prise en considération, la situation de cet écosystème semble plutôt critique."

Source : IOM, 2008

Les éléments clés du système Terre qui ont fait l'objet d'un examen ont été sélectionnés en partie (a) selon leur capacité à être influencés dans un laps de temps « politique », à savoir une centaine d'années (la durée dont se préoccupe un décideur lorsqu'il pense à ses enfants et petits-enfants) ; (b) selon la nécessité d'exercer cette influence dans un laps de temps éthique, à savoir un millier d'années (la durée de vie d'une civilisation) ; et (c) selon l'inquiétude qu'ils provoquent au sein de la société, selon l'avis des experts.

Des éléments clés dépendent également toute une série d'événements : par exemple, la fonte des glaces de l'Océan arctique et du Groenland provoque un apport significatif d'eau douce à la surface de l'océan, ce qui affecte la convection thermohaline. De même, une amplification du courant El Niño affecte le dépérissement de la forêt amazonienne (Lenton et alii, 2008).

L'un des systèmes affectés par les changements climatiques que la recherche sur les éléments clés ne prend pas en compte est la fonte des glaciers alpins,

alors que le phénomène est observé et en pleine accélération. La fonte des glaciers des Andes va affecter la fourniture en eau et l'humidité de la forêt amazonienne et influencer son dépérissement. De même, la perte des glaces de l'Hindu Kush et de l'Himalaya, attribuée au noir de carbone du nuage brun d'Asie et au changement climatique, va probablement contribuer au changement de phase de la mousson d'été indienne.

Les travaux sur la baisse de résistance des écosystèmes ont été publiés en 2007 et ceux sur les éléments clés au mois de janvier 2008. Depuis leur rédaction, une pléthore de nouvelles données scientifiques est venue renforcer l'urgence de l'appel à une véritable gouvernance environnementale ; plus que jamais, celle-ci est nécessaire pour réagir à ce péril et coordonner les mesures de prévention aux niveaux mondial et international (voir chapitres précédents).

Nous sommes déjà responsables de la perte des glaciers alpins et de ses répercussions : perte d'irrigation, d'énergie hydroélectrique, d'eau potable et de capacité

## Encadré 2 : Éléments de basculement

Neuf éléments de basculement considérés comme neuf systèmes terrestres sont susceptibles de subir une brusque transformation. Les délais théoriques de leur déclenchement indiqués ici pourront probablement être modifiés sur la base des données collectées régulièrement sur leurs caractéristiques et leur rythme de développement :

Mousson indienne d'été : le phénomène du nuage brun est l'un des nombreux facteurs régionaux liés au changement climatique qui pourraient perturber la mousson. Délai possible : 1 an.

Mousson dans le désert du Sahara et en Afrique de l'Ouest : de légers dérèglements dans le cycle de la mousson ont eu pour conséquences des humidifications et des assèchements soudains de la zone saharienne dans le passé. Certaines modèles d'analyse parient sur un retour brutal à des périodes humides. Délai possible : 10 ans.

Disparition de la banquise arctique en été : la fonte de la banquise a pour effet d'exposer une plus grande surface de l'océan au soleil. Comme cette surface sombre absorbe plus de chaleur que la glace, le phénomène de réchauffement en est accentué. Délai possible : 10 ans.

Forêt pluviale amazonienne : la disparition d'une grande surface de la forêt pluviale amazonienne est susceptible de réduire les cycles hydrologiques internes à la forêt et d'accélérer son dépérissement. Délai possible : 50 ans.

Forêts boréales : des saisons de croissance végétale et des périodes sèches plus longues tendent à accroître la vulnérabilité de ces écosystèmes aux incendies et aux nuisibles. Délai possible : 50 ans.

Circulation thermohaline dans l'océan Atlantique : la fonte des glaces fait baisser la température de l'eau dans l'Atlantique Nord. Le refroidissement fait baisser la salinité de l'eau, donc sa densité dans la région, et pourrait à terme provoquer l'arrêt du mécanisme de circulation thermohaline, et même le Gulf Stream. Délai possible : 100 ans.

Phénomène d'oscillation australe El Niño (ENSO) : si actuellement le phénomène El Niño apparaît et disparaît régulièrement, les modèles développés sur le changement climatique suggèrent qu'il pourrait passer à un état actif quasi-permanent dans les prochaines décennies. Délai possible : 100 ans.

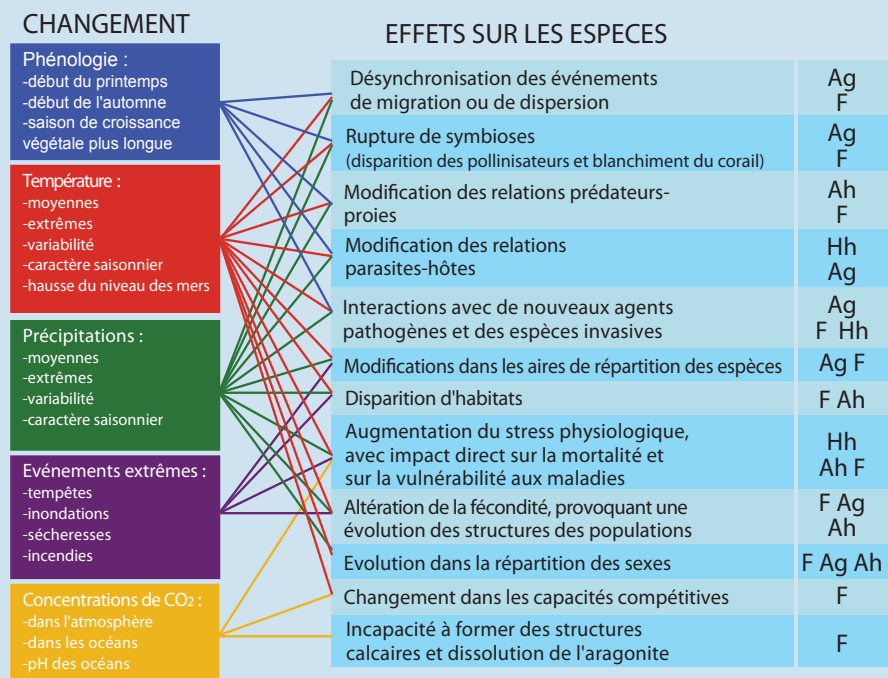
Calotte glaciaire du Groenland : au fur et à mesure que la glace fond, l'épaisseur de la calotte glaciaire réduit elle aussi. Par conséquent, sa surface est exposée à des températures plus élevées à des altitudes plus basses, ce qui contribue à accélérer la fonte et pourrait provoquer la rupture de la calotte à terme. Délai possible : 300 ans.

Calotte glaciaire de l'Antarctique occidental : les chaînes de montagnes sous-marines présentes sous la calotte constituent un risque élevé de rupture soudaine du fait du réchauffement de l'océan. Délai possible : 300 ans.

Source : Lenton et alii, 2008

agricole, et arrivée probable de nouveaux conflits et migrations. Nous assistons déjà à la diminution des glaces de l'Océan arctique, la fonte de la toundra, la dissipation des glaces du Groenland et l'éclatement de la couverture glaciaire de l'Antarctique Ouest (voir Changement climatique, chapitre 3).

**Figure 1 : Corrélations entre les changements climatiques, leurs conséquences sur la faune et la flore, et les activités économiques**



Ag - Agriculture, P - Pêche, Ea - Elevage animal, Sh - Santé humaine

Le changement climatique a un impact sur la disponibilité et l'ampleur des ressources en eau, sur la longueur des saisons de croissance végétale, ainsi que sur les cycles de vie des nuisibles et des agents pathogènes. Tous ces facteurs exercent une pression sur les espèces végétales et animales, et les conséquences touchent un large éventail d'activités économiques et de développement.

Source : Adaptation de Foden et alii, 2008

# Sélection des faits marquants pour l'année 2008

## JANVIER

**15 janvier** Conservation International, l'office du tourisme de l'île de Cozumel et la Florida-Caribbean Cruise Association signent un accord en vue de préserver la biodiversité de ce qui constitue la destination de croisière la plus visitée au monde. Les mots clés de l'accord sont : sensibilisation, trafic, déchets, régulation et application des lois.

**21 janvier** L'agence américaine d'étude des océans et de l'atmosphère (National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA) et Environnement Canada signent un accord transfrontalier pour la mise en place d'un partenariat entre leurs services de recherches météorologiques. Le but de ce partenariat est d'améliorer la surveillance et les prévisions météorologiques et climatiques, et de soutenir la recherche sur le changement climatique.

## FÉVRIER

**7 février** La Norvège autorise un quota de pêche de 1 052 baleines minke pour la saison 2008. Selon le ministère de la Pêche du pays, ce quota ne menacerait pas les populations de baleines minke.



S. MORGAN/STILL PICTURES

**20-22 février** Au cours de la 10<sup>e</sup> session spéciale du Conseil gouvernemental du PNUE, les gouvernements discutent de la stratégie à moyen terme (2010-2013) du PNUE. La session porte sur six thèmes prioritaires, ainsi que sur le rapport GEO-4, la gestion des substances chimiques et des déchets, le développement durable dans la région de l'Arctique et la décennie internationale sur les changements climatiques.

**26 mars** La première édition de la Semaine africaine de l'eau se déroule à Tunis, sous l'égide du Conseil des ministres africains de l'eau et de la Banque africaine de développement. Les participants se mettent d'accord sur la nécessité d'accélérer les progrès en matière de sécurité de l'eau et de définir des plans pour une commission africaine chargée de la gestion des ressources en eaux souterraines (Africa Groundwater Commission).



J. JORGENSEN/STILL PICTURES

**31 mars** 1 100 représentants venus de 163 pays se rencontrent en Thaïlande à l'occasion des premières négociations sur un accord climatique qui remplacera à terme le protocole de Kyoto. Le nouveau traité devrait être en place d'ici la fin de l'année 2009, afin de laisser aux pays participants le temps de le ratifier avant l'expiration du protocole de Kyoto, en 2012.

## AVRIL

**8 avril** La Commission des affaires juridiques du Parlement européen propose de classer les dégradations de l'environnement dans la catégorie des infractions criminelles. Les Etats membres de l'UE pourraient punir par des sanctions pénales tout comportement ayant eu pour effet de porter atteinte à l'air, aux sols, aux eaux, à la faune ou à la flore.

**17 avril** Les ministres d'Etat et fédéral de l'Environnement en Australie ne sont pas parvenus à un accord national, après 6 ans, sur l'interdiction des sacs en plastique. L'Etat d'Australie-Méridionale sera le premier à appliquer une interdiction en janvier 2009. Près de quatre milliards de sacs en plastique sont jetés par les Australiens chaque année.

**12-16 mai** À Bonn, la quatrième Conférence des parties à la Convention de Carthagène sur la prévention des risques biotechnologiques permet de fixer un calendrier et un cadre de négociations. Des réglementations et procédures contraignantes vont être mises en place afin de définir les responsabilités et les réparations qui résulteraient de dommages survenant lors de mouvements transfrontaliers d'organismes modifiés vivants.

**14 mai** Le Secrétaire général des Nations Unies, Ban Ki-moon, s'adresse aux délégués à l'occasion de la 16<sup>e</sup> Commission du développement durable des Nations Unies. Il les invite à soumettre dès que possible de nouvelles idées et des plans d'actions concrets sur les thèmes de cette seizième session : les sols, l'agriculture, le développement rural, la désertification et la situation de l'Afrique.



S. P. APKU/IRIN

**14 mai** Le changement climatique est directement en cause dans la disparition de son habitat : l'ours polaire apparaît dans la liste des espèces menacées d'extinction établie par les autorités américaines. Les scientifiques américains prédisent que les deux tiers de la population des ours polaires (chiffrée à environ 25 000 têtes actuellement) pourraient avoir disparu à l'horizon 2050.



B. LICHTENBERGER/STILL PICTURES

**7-12 juin** La douzième session de la Conférence ministérielle africaine sur l'environnement (CMAE) et la première réunion extraordinaire des parties à la Convention d'Abidjan sont organisées à Johannesburg. La CMAE adopte une feuille de route de l'Afrique sur le changement climatique, de Johannesburg à Copenhague ("Africa's Climate Roadmap, from Johannesburg through Africa to Copenhagen").

**24-28 juin** Des scientifiques et des pouvoirs décisionnaires se rencontrent en Ouganda à l'occasion de la première conférence internationale sur les eaux souterraines et le climat en Afrique. Après avoir discuté du rôle des eaux souterraines dans l'amélioration de la subsistance des populations africaines, les participants adoptent la déclaration de Kampala, visant à alerter sur l'urgence du développement d'infrastructures juridiques et institutionnelles.

## JUILLET

**2-10 juillet** Au cours de sa 32<sup>e</sup> session, le Comité du patrimoine mondial de l'UNESCO ajoute huit sites naturels à sa liste du Patrimoine mondial, dont une grande partie du lagon de Nouvelle-Calédonie.



L. G. ROGER/STILL PICTURES

## AOÛT

**26-29 août** Le PNUE et l'OMS (Organisation mondiale de la santé) organisent la première Conférence interministérielle sur la santé et l'environnement en Afrique, au Gabon. Les objectifs de cette conférence : mettre en place une alliance stratégique en matière de santé et d'environnement et créer un réseau africain pour la surveillance des maladies.

**27 septembre** Le Sénat américain approuve la législation permettant l'expiration au 30 septembre d'une interdiction de longue date sur les forages pétroliers en mer. En conséquence, la majorité des côtes américaines sont désormais ouvertes à l'exploration d'hydrocarbures.



B. EVANS & P. ARNOLD/STILL PICTURES

**29 septembre** Le gouverneur de Californie, Arnold Schwarzenegger, signe deux lois vertes qui permettent la mise en place d'un programme exhaustif de régulation des substances chimiques susceptibles de provoquer des cancers, des désordres hormonaux et d'autres problèmes de santé. Les nouvelles mesures portent sur 80 000 substances actuellement utilisées.

**30 septembre** La session d'inauguration du World Ocean Council se tient à New York. Elle réunit des représentants des secteurs du transport maritime, du pétrole et du gaz, de la pêche, du tourisme de croisière, de l'aquaculture, des activités portuaires et d'autres secteurs liés à la mer. Le but est d'améliorer le dialogue entre des secteurs d'activités dont la survie dépend d'une exploitation pérenne des océans du monde.

## OCTOBRE

**15 octobre** À l'occasion du 3<sup>e</sup> Sommet du forum de dialogue IBAS (Inde-Brésil-Afrique du Sud), les responsables soulignent l'importance de l'accès aux ressources génétiques et au partage équitable des bénéfices découlant de ces ressources, et appellent à une conclusion dans ce sens des négociations en cours pour la mise en place d'un régime international.

**16-19 novembre** L'Arabie Saoudite accueillera la Conférence internationale sur les ressources en eau et les milieux arides, ainsi que le 1<sup>er</sup> Forum arabe de l'eau. Les discussions portent sur le changement climatique et son impact sur les ressources en eau et les environnements arides, les avancées des politiques arabes dans le domaine et la gestion des crises de l'eau dans le monde arabe.

**17-18 novembre** La Conférence de coopération pour la gestion de l'eau en Asie centrale (Water Unites - Strengthening Regional Cooperation on Water Management in Central Asia) se tient au Kazakhstan. Les discussions portent sur l'assèchement de la mer d'Aral et le besoin d'un accord entre les pays la bordant pour mettre en place des systèmes de déversement et de distribution d'eau.

**27 novembre** Le Royaume-Uni vote une loi réglementant l'accès à ses côtes et ses eaux maritimes (Marine and Coastal Access Bill), mettant ainsi en place la première infrastructure législative nationale cohérente en matière de politique maritime. La loi vise un développement durable des environnements marins et côtiers du pays.



S. PARIS/ONU

B. DAEMERICH/STILL PICTURES



**21 février** Le Costa Rica, l'Islande, la Nouvelle-Zélande et la Norvège sont les premiers pays à rejoindre le Réseau pour un climat neutre (CN Net), une initiative développée conjointement par le PNUJ et le Groupe de la gestion de l'environnement des Nations Unies. Ce réseau global d'échange d'informations s'est fixé pour objectif de réduire les émissions dans tous les secteurs de la société.



J. JABBOUR/PNUJ

**15 mai** L'UE et le Ghana annoncent leur décision de signer au mois de juin un accord de partenariat volontaire visant à enrayer l'abattage illégal d'arbres pour promouvoir la certification des exportations de bois. D'après les estimations, l'abattage illégal d'arbres ferait perdre près de 10 milliards de dollars de ressources publiques aux pays en développement chaque année.

**27 août** L'agence de protection de l'environnement du Ghana interdit l'importation de 25 produits agrochimiques considérés comme des produits impropres à une utilisation locale ou comme des sources de risque pour la santé humaine, les animaux, les récoltes et l'environnement en général. Dans la liste des substances interdites figurent le toxaphène, l'aldrine, l'endrine, le chlordane, le captafol et le DDT.

**27-31 octobre** Les participants à la 30<sup>e</sup> conférence de la Convention sur la prévention de la pollution marine causée par l'immersion de déchets et autres matières et à la troisième réunion de la Convention de Londres, adoptent une résolution non contraignante visant à réglementer les opérations de fertilisation des océans, en les autorisant uniquement dans le cadre de projets de recherche scientifique légitimes.

**29 novembre** Dans le cadre de la Conférence internationale sur le financement du développement, organisée au Qatar, les représentants présents insistent sur la nécessité de maintenir les engagements d'aide dans ces temps de ralentissement économique. Ils se montrent inquiets face aux défis combinés de la sécurité alimentaire, des prix des matières premières et des denrées alimentaires, du changement climatique, de la crise financière mondiale et des accords commerciaux multilatéraux.

## MARS

**9 mars** Plusieurs pays de la zone Asie-Pacifique annoncent leur décision de procéder à l'élimination des CFC en avance par rapport à l'échéance de 2010 prescrite par la Convention de Montréal sur la protection de la couche d'ozone. Selon l'Indonésie, des importations illégales de substances ozonogènes (OSD) persisteraient.

**19 avril** La Commission européenne retire sa proposition d'atteindre une part de 10 % de biocarburants dans la consommation totale d'essence et de gazole. Selon les scientifiques, cet objectif qui entrerait dans le cadre d'une politique visant une réduction des gaz à effet de serre de 20 % d'ici 2020 pourrait avoir des effets indésirables sur la production alimentaire.

**19-30 mai** Les participants à la neuvième Conférence des Parties à la Convention sur la diversité biologique, à Bonn, adoptent une feuille de route pour les négociations sur l'accès aux ressources génétiques et le partage des bénéfices, sur les critères scientifiques à prendre en compte pour la définition de zones maritimes protégées, et sur la restriction de la fertilisation des océans.

**29 août** La Chine adopte une loi dictant l'entrée en vigueur du concept "d'économie circulaire" au 1<sup>er</sup> janvier 2009, afin de promouvoir les économies d'énergie et de réduire la pollution. Les objectifs à atteindre d'ici 2010 comprennent une réduction de la consommation énergétique du pays de 20 % par point du PIB, et la réduction des niveaux des principaux polluants de 10 % par rapport aux niveaux de 2005.

**29 octobre** Au cours de la 10<sup>e</sup> Conférence des Parties Contractantes de la Convention Internationale de Ramsar sur les zones humides, en Corée, le Secrétariat de Ramsar, le groupe Danone et l'UICN forment un partenariat dans le cadre duquel le groupe industriel s'engage à réduire ses émissions et à les compenser via des opérations de restauration de zones humides.

## DÉCEMBRE

**1-12 décembre** La 14<sup>e</sup> Conférence des Parties à la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CdP-14), en Pologne, définit une feuille de route internationale et trace la voie à la conférence suivante (CdP-15), prévue à Copenhague au Danemark en 2009, laquelle doit aboutir sur un accord climatique portant sur l'après-2012.

**11 mars** La ratification par l'Australie du Protocole de Kyoto entre en application : le pays s'engage à réduire, d'ici 2050, ses émissions de gaz à effet de serre de 60 % par rapport aux niveaux de 2000. Les Comores, la République centrafricaine, Tonga, São Tomé et Príncipe, Saint-Kitts-et-Nevis et la Serbie adoptent également le protocole au cours de l'année 2008.

## MAI

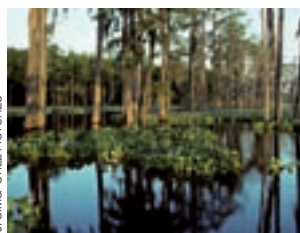
**13 mai** La ministre de l'Environnement brésilienne, Marina Silva, saluée comme une championne de la cause écologique mais malmenée par les puissants groupes agricoles du pays, démissionne après avoir perdu d'importantes batailles dans ses efforts pour protéger la forêt pluviale amazonienne.

## JUIN

**3-5 juin** Conférence au sommet sur la sécurité alimentaire à Rome. Les spécialistes appellent à la mise en œuvre de mesures coordonnées et urgentes afin de combattre les effets dévastateurs de la hausse des prix des denrées alimentaires dans les pays les plus vulnérables. Selon ces mêmes spécialistes, cette hausse des prix devrait se poursuivre pendant plusieurs années.

## SEPTEMBRE

**15-19 septembre** A l'occasion de la quatrième rencontre entre les Parties contractantes à l'Accord sur la conservation des oiseaux d'eau migrateurs d'Afrique-Eurasie à Madagascar, est adopté un plan d'action international pour la sauvegarde de la spatule blanche. Certains des principaux itinéraires de migration dans le monde ont vu les populations d'oiseaux migrateurs réduites jusqu'à 41 %.



J. SIMS/STILL PICTURES

**5 décembre** Le nouveau ministre de l'Environnement brésilien, Carlos Minc, annonce la création d'un plan de lutte contre le changement climatique, dans lequel il programme une réduction de la déforestation de 70 % au cours de la prochaine décennie. Parmi les objectifs fixés par le plan figure la réduction du volume annuel de déforestation de 1 890 700 hectares à 492 000 hectares d'ici 2017, ce qui reviendrait à empêcher la libération de près de 4,8 milliards de tonnes de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère.

KLEIN J.L. & HUBERT M.L./STILL PICTURES



LANTOINE/STILL PICTURES



SEGUINDIA/STILL PICTURES

**4 juin** Les Etats-Unis lancent un appel pour trouver un accord international sur la gestion de la pêche en Arctique et appliquent une politique nationale qui a pour effet d'interrompre le développement de la pêche industrielle dans la région, dans l'attente de données de gestion plus fiables.

H. PIERRE/STILL PICTURES



## NOVEMBRE

**11-15 novembre** Les délégués à la première Conférence mondiale sur la biodiversité marine, en Espagne, discutent des progrès enregistrés dans la réalisation du premier recensement de la vie marine, dont le terme est prévu en 2010. Ce recensement devrait permettre de répertorier jusqu'à 250 000 espèces, avec leur codage ADN, de créer des cartes et de recueillir des données de biomasse.

**8 décembre** Des manifestants venus des Maldives avertissent les représentants présents à la CdP-14 du risque de disparition de leur archipel par l'élévation du niveau de la mer et les tempêtes si rien n'est fait pour inverser le phénomène du réchauffement climatique.

**20 mars** La Convention sur le commerce international des espèces de faune et de flore sauvages menacées d'extinction (CITES) vote la suspension du commerce avec le Nigéria pour non-respect de la Convention. Le Nigéria ne peut ni importer ni exporter d'espèce végétale ou animale aux termes de la Convention.

**12 mai** Les îles Marshall, l'une des premières nations au monde en matière de transport maritime, signe cinq conventions maritimes internationales, parmi lesquelles la Convention de Londres. Le nombre d'Etats ratificateurs passe à 35, soit 29,73 % de la capacité totale de la flotte mondiale.



**24 septembre** Le Secrétaire général des Nations Unies Ban Ki-moon et le premier ministre norvégien Jens Stoltenberg annoncent la mise en place du programme de réduction des émissions causées par le déboisement et la dégradation des forêts (REDD). La déforestation des régions tropicales est à l'origine chaque année de près de 20 % des émissions de carbone provoquées par l'homme.

**12 novembre** Nouvellement élu, Barack Obama annonce que l'énergie sera l'une des principales priorités de son futur mandat. Une fois à la Maison blanche, il compte faire suivre à son pays l'exemple de l'Europe en matière de changement climatique, en renonçant aux centrales électriques fonctionnant au charbon et en misant sur les sources d'énergie renouvelables.



C. GLUCK/OKFAM

## L'heure des comptes

Alors que chacun des chapitres du présent rapport a abordé séparément une série de thèmes qui sont autant de points d'entrée vers la compréhension des changements écologiques qui touchent le monde et de leurs seuils critiques, on découvre chaque jour de nouvelles relations entre lesdits thèmes. Le changement climatique affecte les catastrophes naturelles et les conflits ; la mauvaise gestion des écosystèmes engendre des produits toxiques qui nuisent à l'homme et à la faune. Les catastrophes naturelles peuvent provoquer des changements de régime précipités dans les écosystèmes. L'accumulation de «substances» nocives peut créer dans les océans des zones mortes qui éliminent des écosystèmes marins entiers. Les déchets agricoles et le changement climatique détruisent les récifs coralliens. «En fin de compte,» le manque d'efficacité en matière d'utilisation des ressources est l'une des causes fondamentales de tous les problèmes présentés dans les chapitres qui précèdent.

Si l'on étudie chaque thème séparément, ces relations

sont problématiques ; ces thèmes ne peuvent être compris que si on les considère comme les composants de systèmes plus grands, ceux de la planète Terre, qui soutiennent toutes les activités humaines. Les effets cumulés sur l'environnement trouvent leur origine dans le même phénomène que l'avancée récente de la mondialisation : nous ne sommes plus isolés, coupés de l'influence des autres. Dans le monde interconnecté qui est aujourd'hui le nôtre, tout bouleversement social ou écologique d'importance dans une région affecte le système tout entier (Costanza et alii, 2007). La prise de conscience de ces interconnexions (on pourrait même dire interdépendances) rend d'autant plus évidente la nécessité d'une gouvernance environnementale qui envisage les besoins à plusieurs niveaux et sur plusieurs générations : les êtres humains, les sociétés humaines et l'économie humaine font partie intégrante des systèmes de la Terre et de leur économie : la géosphère, la biosphère, l'atmosphère et les écosystèmes qui les unissent en un tout cohérent (Ehrlich et Erlich, 2008).

## DE NOUVEAUX OUTILS SONT NECESSAIRES

Une série d'études portant sur l'état mondial de l'environnement soulignent la nécessité de mettre au point de nouvelles formes politiques et d'arrangements institutionnels pour régler les problèmes écologiques persistants. Chaque pays doit mobiliser les capacités financières et humaines suffisantes pour mettre en œuvre ces politiques et faire en sorte qu'elles soient respectées. Il faut par ailleurs accorder plus d'attention aux situations et aux populations locales, par exemple en renforçant les législations locales et en assurant la préservation des ressources naturelles (ainsi que l'accès à celles-ci) afin de réduire la vulnérabilité des populations les plus démunies (WRI, 2008). Au niveau international, il est possible de mettre en place des conditions plus favorables en rationalisant le nombre de traités écologiques (trop élevé), en renforçant les organisations internationales et en développant des mécanismes internationaux plus cohérents (UN, 2006b).

La plupart des solutions aux défis auxquels nous

**Tableau 1 : Effets cumulatifs (données constamment révisées à la lumière des avancées scientifiques et d'autres renseignements)**

| Themes   | Ecosystem management  | Climate change   | Disasters and conflicts   | Harmful substances and hazardous wastes  | Resource efficiency  |
|--|---|--|---|--|--|
| <b>Gestion des écosystèmes</b>                 | Données : la déforestation a pour effet de provoquer une perte de masse critique, ce qui contribue à aggraver le dépérissement des forêts, notamment en Amazonie                      | L'inefficacité des ressources agricoles du fait de l'érosion des sols et des faibles ressources en eau provoque la dégradation des écosystèmes   | Les désastres peuvent accélérer les changements dans les écosystèmes ; les belligérants pratiquant la politique de la terre brûlée détruisent les récoltes et contaminent les sources d'eau, engendrant désastres et famine, etc. | L'accumulation de substances nocives peut créer dans les océans des zones mortes qui éliminent des écosystèmes marins entiers. Les déchets agricoles et le changement climatique détruisent les récifs coralliens.             | Une mauvaise gestion des engrais engendre une nitrification importante et crée des zones mortes dans les océans  |
| <b>Changement climatique</b>                   | L'acidification des océans détruit le récif corallien, donc tout l'écosystème dont vit la pêche   | Données : la fonte des glaces a pour effet d'exposer la surface des océans au soleil. Celles-ci absorbent plus de rayonnements solaires, ce qui contribue à accélérer le réchauffement au niveau local     | Des catastrophes à évolution lente engendrent des conflits autour de ressources raréfiées ; l'exposition aux nuisibles et à des agents pathogènes est accrue dans les nouveaux environnements                                     | Des substances dangereuses sont libérées par la fonte des glaces ; balayage des déchets piégés lors de crues éclair ; immersion des conteneurs de contention destinés aux substances dangereuses, toxiques et déchets médicaux | Les besoins en air conditionné conduisent les opérateurs électriques à opérer des interruptions et des réductions de service   |
| <b>Désastres et conflits</b>                   | La dégradation des sols et la disparition d'écosystèmes provoque des migrations, lesquelles peuvent engendrer des conflits  | Des cyclones plus fréquents et plus intenses frappent des côtes peuplées ; recherche par les populations de nouveaux sites, situés au-dessus du niveau critique de montée des eaux, migrations et conflits | Données : les dégâts provoqués par un désastre ont pour effet d'accroître la vulnérabilité à un autre désastre  | Des fuites massives et soudaines en provenance des sites de contention passent dans les cours d'eau, les sols et l'atmosphère, réclamant la mise en place immédiate d'actions de nettoyage onéreuses                           | La migration des populations a pour effet d'altérer les écosystèmes : les marques de leurs passages sont visibles par les satellites   |
| <b>Substances nocives et déchets dangereux</b> | La libération de nanoparticules pourrait menacer la santé des écosystèmes, les fuites radioactives pourraient affecter le rythme de mutation des espèces vivantes                     | Immersion des conteneurs de contention des substances dangereuses, toxiques et médicalement nocives  | Les méthodes d'extraction sauvages et dangereuses alimentent les conflits, les richesses en jeu découragent toute intervention des autorités  | Données : la pollution industrielle affaiblit la résistance des populations aux maladies et accroît la fréquence des cancers et des malformations chez les enfants   | Les inefficacités des ressources ont pour effet de polluer les eaux, les sols et l'atmosphère  |
| <b>Rendement des ressources</b>                | Opérations de production, de traitement, de gestion et de distribution de produits alimentaires provoquant des contaminations et des interruptions dans la chaîne d'approvisionnement | Des modèles climatiques dégradés engendrent désertification et disparition des ressources en eau et du sol   | Les conflits civils et une mauvaise gestion politique mènent à la malnutrition, à des épidémies de choléra, à l'éclatement des infrastructures sanitaires et de traitement et de distribution de l'eau                            | L'ajout de cendre de charbon dans le béton a pour effet de réduire la quantité de GES émis dans la production du ciment et de piéger des déchets dangereux   | Données : la surexploitation et la pollution détruisent ou abîment les paysages et établissements humains de sorte que les entreprises et les colonies se déplacent une fois les ressources épuisées |



sommes confrontés sont déjà connues ; quant aux mesures à prendre, elles sont théoriquement abordables. Le caractère persistant des problèmes exige des politiques à long terme cohérentes : le marché aura alors des certitudes et le secteur privé pourra se préparer à procéder aux investissements nécessaires (OECD, 2007). Qui plus est, ces politiques doivent prévoir des objectifs concrets et ambitieux ainsi que des indicateurs de progrès mesurables, y compris dans les domaines où aucun objectif n'a encore été fixé (comme l'approvisionnement en énergie) ou dans ceux où nous ne nous sommes fixés que des objectifs à court terme (par exemple la biodiversité).

### Élargir les petites expériences pour obtenir de grands avantages

De nouvelles initiatives, agissant dans le cadre de plusieurs accords tant sectoriels qu'internationaux, tentent de trouver des solutions à plusieurs niveaux et avec divers résultats. Deux d'entre elles, le processus

d'évaluation mondial de l'état du milieu marin et le programme de "déforestation évitée", espèrent montrer qu'il est possible de tirer les leçons des études et projets à petite échelle et d'appliquer leurs résultats aux niveaux mondial et local.

Les mers et les océans fournissent en valeur les deux tiers de tous les services naturels fournis par la planète, notamment en matière de contrôle climatique et de cycle de l'eau. Malgré les avantages économiques évidents qu'apporterait leur préservation, les océans du monde continuent à subir des dégradations et sont toujours menacés par une série de facteurs, parmi lesquels les changements climatiques, la pollution, les altérations physiques ou l'augmentation de la pression pesant sur les écosystèmes en raison de la surpêche et de la croissance de la population.

Les océans couvrent 70 % de la planète, et pourtant nous ne comprenons pas ce qui leur arrive dans l'ensemble. En réponse aux engagements pris lors du Sommet mondial sur le développement durable de 2002,

la Commission océanographique intergouvernementale de l'UNESCO et le Programme des Nations Unies pour l'environnement sont en train de mettre en place un processus visant à faire en sorte que les systèmes marins mondiaux soient régulièrement contrôlés et évalués.

Le processus de rapport prévu établira les bases, les tendances et les perspectives relatives aux changements écologiques marins et fixera un calendrier d'évaluation régulière de l'état des océans du monde dans leur ensemble et plus particulièrement des interactions entre le système marin et la société (et ce, à plusieurs niveaux). Il se basera sur les études régionales et mondiales existantes et servira de cadre à l'intégration des évaluations sectorielles et thématiques, surtout celles réalisées aux niveaux régionaux et sous-régionaux et celles qui étudient l'influence des cours d'eau sur l'environnement côtier et marin.

Par ailleurs, le processus organisera, analysera et communiquera toutes les données afin que les décideurs

**Tableau 2 : Facteurs, thèmes et corrélations (données constamment révisées à la lumière des avancées scientifiques et du suivi et de l'évaluation de projets et programmes)**

| Thèmes<br>Facteur                                | Gestion des écosystèmes   | Substances nocives et déchets dangereux  | Changement climatique   | Désastres et conflits  | Rendement des ressources   | Gouvernance environnementale   |
|--|---|--|---|--|--|--|
| <b>Croissance des populations</b>                | Réduction de la surface cultivable par individu ; pression démographique sur les zones côtières et dans les zones protégées   | Les jeunes enfants, les femmes enceintes et les populations autochtones sont les plus vulnérables à une exposition à des substances toxiques               | Déplacement des populations face à la montée du niveau des mers, à la désertification, à l'intensification et à la fréquence accrue des tempêtes  | Des populations vulnérables dans des zones vulnérables ; réformes foncières ; infrastructures détruites par des séismes ; catastrophes à évolution lente   | Expansion rapide du secteur de la construction dans les pays en développement ; consommation d'énergie dans la production alimentaire ; stress hydrique              | Régime foncier ; équité ; meilleur accès à l'eau   |
| <b>Accroissement de la demande en ressources</b> | Agriculture industrielle ; éco-agriculture ; paysages semi-naturels ; effondrement de la pêche ; disparition des forêts tropicales ; destruction des mangroves et des récifs coralliens   | Nitrification de l'eau ; pesticides ; e-déchets ; présence d'arsenic dans les eaux souterraines ; contamination au mercure ; avenir des nanotechnologies ; | La production de biocarburants et le piégeage du carbone par les forêts ont pour effet d'accroître la pression sur les marchés des denrées alimentaires et du bois ; l'acidification des océans affecte la pêche ; la disparition des glaciers explique la disparition des cours d'eau provenant de ces réservoirs naturels | Destructions dues à des conflits civils ; conflits portant sur des ressources naturelles ; disparition des mangroves ; saisons changeantes ; conditions météorologiques extrêmes ; glissements de terrain ; situations d'urgence complexes | Croissance de la consommation ; production de biocarburants ; économie circulaire en Chine ; dématérialisation de la production industrielle ; symbiose industrielle | Partage des ressources basé sur les droits de pêche ; systèmes de gestion intégrés ; dissocier productivité et dégradation de l'environnement ; paiements de compensation ; REDD ; objectifs sur les GES ; faciliter le transfert des technologies |
| <b>Croissance économique</b>                     | Pratiques agricoles peu productives dans les régions rurales pauvres ; évaluation des biens et services des écosystèmes ; forêt pluviale de l'Amazonie en difficulté ; flambée des prix de l'énergie ; hausse des prix des denrées alimentaires | Commerce d'engrais synthétiques, pesticides, produits toxiques ; exportation d'e-déchets ; demandes en matières premières engendrant de la pollution ;     | Perte économique due à la désorganisation du système agricole, de transport et de l'approvisionnement en carburant ; dégâts provoqués par des tempêtes plus graves qui affectent le secteur de l'assurance et la stabilité des infrastructures  | Déforestation provoquée par la pauvreté et les instabilités sociales ; perte de revenus touristiques ; perte de récoltes et de revenus suite aux tempêtes ; désastres technologiques   | Forte croissance de l'extraction de ressources minérales et biologiques dans les pays nouvellement industrialisés ; transport public dans les zones urbaines         | Ralentissement des marchés financiers ; développement des biocarburants ; économie du suffisant  |
| <b>Programme de développement durable (OMD)</b>  | Chaque année, la déforestation fait disparaître une superficie équivalente à la taille du Panama ou de la Sierra Leone  | Une mauvaise santé environnementale peut faire baisser le PIB annuel de 1,5 à 4 %  | Les pays en développement sont à la fois plus vulnérables au changement climatique et moins en mesure d'y répondre  | Accroître les aides et renforcer leur efficacité ; atteindre de meilleurs résultats dans le développement humain   | L'épuisement des ressources naturelles est souvent associé à une baisse de la richesse nationale   | Progrès inégaux aux niveaux politique et institutionnel dus à un fossé entre discours politique et capacité de mise en œuvre ; contradictions entre libéralisation du commerce et protection de l'environnement                                    |

Source : adaptation de Banque mondiale, 2008

et autres acteurs puissent prendre des décisions informées et ainsi réduire l'impact de l'homme sur les océans et garder ouvertes la plus grand nombre d'options pour l'avenir. L'objectif est d'améliorer les pratiques relatives à la surveillance et à l'observation des océans et de généraliser l'emploi des indicateurs, notamment ceux permettant d'identifier les conditions préoccupantes. Enfin, il fournira les conseils, le réseau, le soutien et le renforcement des capacités nécessaires pour renforcer les évaluations continues, qu'elles soient thématiques, régionales ou nationales (UNEP, 2008).

Les forêts tropicales font partie des écosystèmes les plus menacés de la planète. Pourtant, elles fournissent des fonctions et des écoservices essentiels dont dépendent toutes les sociétés. Elles sont les plus grands réservoirs de biodiversité terre, «car elles servent» de refuge à près de la moitié de toutes les espèces animales et végétales connues. Elles préservent les sols, protègent les bassins versants et modèrent les catastrophes naturelles. Elles fournissent des sources de revenus à plus de 1,5 milliards de personnes, dont beaucoup ont un mode de vie de subsistance et dont la survie même repose sur ces forêts riches en carbone. Nommés à juste titre poumons de la planète, ces écosystèmes jouent aussi un rôle vital dans le filtrage et la régulation de notre air, dont ils éliminent le dioxyde de carbone pour le remplacer par de l'oxygène.

Réduire les émissions provenant de la déforestation et de la dégradation de la forêt (l'objectif du programme REDD) est une manière claire d'atténuer les changements climatiques, qui a donné naissance au concept de réduction compensée. L'idée consiste à se servir des nouveaux marchés du carbone pour permettre aux pays en voie de développement disposant de forêts tropicales de participer de manière rentable et équitable aux efforts mondiaux de réduction des émissions de gaz à effet de serre dans le cadre de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC). Fondamentalement, l'objectif est de compenser les pays en développement qui s'engagent volontairement à réduire leur taux de déboisement ou à le stabiliser au-dessous d'un niveau prédéterminé. Le programme REDD peut donc être partiellement considéré comme un instrument autorisant un accès juste et équitable au système de financement de la lutte contre les émissions de carbone (que ce soit via le marché mondial des droits d'émission ou les fonds). Certains de ses partisans affirment en outre que le REDD encourage non seulement la réduction des gaz à effet de serre mais permet simultanément d'atteindre plusieurs sous-objectifs : préservation de la biodiversité, protection des bassins versants, atténuation de la pauvreté dans les communautés rurales et renforcement des capacités des pays disposant de forêt tropicales.

Le REDD a acquis beaucoup d'élan en 2008 suite à la

décision, en 2007, de "prendre urgemment des mesures plus draconiennes" pour éviter la déforestation et à celle de lancer une phase pilote de deux ans. Bien que son architecture et ses règles précises doivent toujours être définies, il semble maintenant extrêmement probable qu'un mécanisme international de type REDD constituera un élément clé du régime international post-2012 en matière de changements climatiques.

L'année 2008 a été marquée par l'émergence d'un grand nombre de projets et par un afflux de subventions témoignant de la position de plus en plus unie des gouvernements et des autres institutions en ce qui concerne les avantages potentiels du programme REDD. Malheureusement, au fur et à mesure que le débat scientifique et politique évolue, surviennent de nouveaux contentieux, complications et incertitudes, l'un des moindres n'étant pas lié aux questions de méthodologie : comment choisir et structurer les niveaux de référence en matière de déboisement, comment intégrer aux calculs les problèmes de dégradation, comment décider des normes permettant de quantifier et de contrôler le taux de déboisement, comment faire appel aux capacités des institutions pour garantir la précision des mesures, comment assurer la disponibilité des résultats dans un laps de temps utile aux décideurs, etc.

Toutes ces questions sont essentielles et sont encore, dans l'ensemble, sans réponse. Cependant, même résolues, elles risquent de se faire éclipser par les problèmes de gouvernance : les résultats finaux dépendent probablement moins des données techniques que des choix politiques et des arbitrages, dans la mesure où les règles adoptées créeront des gagnants et des perdants dans ce qui est d'ores et déjà en train de devenir un nouveau type de paiements pour les services d'écosystème (Karsenty et alii, 2008). Le plus grand défi qui attend la mise en œuvre du programme REDD risque donc bien d'être celui de la gouvernance. Les injustices omniprésentes en termes de droits d'usage des terres et de régime foncier, l'accès limité aux financements et aux informations pour les groupes marginalisés, l'appropriation des revenus par une élite... ne sont que quelques exemples de problèmes de gouvernance qui pourraient purement et simplement annuler les bénéfices locaux et mondiaux du programme REDD (Preskett et alii, 2008).

Etant donné que le programme REDD sera probablement exécuté à l'échelle locale et que chaque site possède sa propre valeur auxiliaire (biodiversité, eau douce, revenus locaux), le coût de protection élevé de certaines forêts moins immédiatement lucratives pourrait jouer en leur défaveur, ce qui souligne la nécessité de disposer de ressources supplémentaires (Miles et Kapos, 2008). Par conséquent, il a récemment été proposé d'estimer l'ensemble des services fournis par la forêt et non plus la seule fonction de stockage du carbone (Gardiner, 2008 ; Trivedi et alii, 2008). Ces

propositions dépassent toutefois la portée des mécanismes REDD proposés et actuellement débattus et ne feront probablement pas partie des délibérations à venir de la CCNUCC. Est également liée à ce débat la possibilité que la préservation des forêts en fonction de leur potentiel de stockage du carbone ne transfère la pression vers d'autres écosystèmes moins riches en carbone : si les investissements sont uniquement réalisés dans les forêts tropicales alors que la demande de nourriture et de cultures bioénergétiques augmente, d'autres sites pourraient se retrouver sous pression et devenir les cibles d'une nouvelle phase d'exploitation et d'utilisation des sols.

La capacité du REDD à fournir des occasions novatrices et rentables de diminuer les émissions de gaz à effet de serre tout en préservant la biodiversité et la société dépendra en grande partie de nos capacités de gestion et de contrôle. Il est parfaitement possible que nous soyons en train de mettre en place un mécanisme inadéquat ; il est par conséquent crucial que les scientifiques, les experts et les décideurs identifient, évaluent et intègrent dans leurs prévisions les effets secondaires défavorables du REDD au même titre que les possibilités qu'il offre. Bien que la perspective de la mise en place de ce programme ne réduise en rien l'impératif d'éliminer les causes fondamentales de la dégradation des forêts et qu'il ne soit en aucun cas à même de résoudre à lui seul la crise climatique à laquelle nous faisons face, son concept a au moins l'avantage d'inciter à renouveler les façons de penser en matière de gestion des écosystèmes. A l'heure actuelle, la déforestation se poursuit et le climat continue à changer ;



Restes d'arbres calcinés en Amazonie : la déforestation est l'un des principaux acteurs dans la production totale de CO<sub>2</sub>.

Source : ONU-HABITAT/ istockphoto

il est donc essentiel de continuer à examiner, accepter, tester, rejeter ou améliorer les nouvelles idées. La conception d'un programme de "déforestation évitée" en vue d'obtenir de multiples avantages pourrait constituer un précédent unique qui consisterait à résoudre les problèmes écologiques par des approches novatrices, efficaces et équitables.

### Des avantages du choix

L'expression "point de rupture" est particulièrement courante ; il existe dans la plupart des langues une locution pour la décrire : la goutte d'eau qui fait déborder le vase, la "paille qui casse le dos du chameau" ou le "coup de coude qui fait tomber un gros objet". Elle désigne l'élément déclenchant une réaction à retardement après que la "pression" s'est accumulée dans le système (Scheffer et alii, 2001). En géologie et en ingénierie, différents types de matériaux granuleux non consolidés possèdent différents angles de repos, ou de stabilité, en fonction de la forme des particules les composant, de la densité des matériaux en question et d'autres facteurs. Si l'on dépasse cet angle, le terrain ou l'édifice s'effondre. Ce principe s'applique notamment à la classification des menaces d'avalanche en région montagneuse (Barbolini et alii, 2004).

L'expression a été précédemment utilisée dans les cercles sociologiques, avec le même type de sens, pour désigner certains retards subtils apparaissant lorsqu'un facteur causal doit atteindre une masse critique avant de provoquer une réaction au sein d'une population donnée. Ce phénomène a été documenté en épidémiologie, dans le domaine de la mode et dans la transformation démographique des communautés (Gladwell, 2000). Il peut toutefois être vu sous un autre angle : celui selon lequel il est possible de modifier un système existant à l'aide d'un effort minimal (Gladwell, 2000) ou, toujours à l'aide d'un minimum d'effort, de donner à un système l'élan nécessaire pour arriver au résultat désiré. Cette perspective a inspiré bon nombre de projets visant à créer une masse critique qui permettrait de modifier un environnement de plus grande taille : création de jardins communautaires dans les quartiers urbains à taux de criminalité élevé, replantage de mangroves, restauration de terres marécageuses, etc. (Marten et alii, 2005).

C'est ce dernier sens qui nous intéresse : nous vivons aujourd'hui l'instant propice pour inaugurer le passage intentionnel à une économie respectueuse de l'environnement. L'utilisation de la "thérapie de choc" (une série de politiques qui mettent l'économie en chute libre, celle-ci ne se stabilisant que lorsque les mécanismes du marché entrent en jeu) pour atteindre des objectifs macroéconomiques est une technique généralement admise (Sachs et Lipton, 1990). Cette méthode consiste à encourager la déréglementation, l'élimination de toute règle ou norme non fixée par le

marché, une approche qui a été sévèrement critiquée en 2007 et que l'on a qualifiée de "capitalisme de crise" et de "doctrine de choc" (Klein, 2007).

L'économie mondiale actuelle, encouragée par des transports bon marché alimentés aux hydrocarbures, la mondialisation du commerce des biens et des services et la conversion instantanée des devises, est très certainement en train de vivre un choc des plus remarquables. Celui-ci représente une occasion incomparable de rénover et d'améliorer un système qui tire ses origines d'un monde où la révolution industrielle n'avait pas encore commencé, où la colonisation divisait des continents entiers et dont la population totale équivalait à celle de l'Europe d'aujourd'hui.

Il est temps d'adopter une nouvelle approche, un avis auquel se range chaque jour de plus en plus de monde : selon le Président de l'Assemblée générale de l'ONU, la Conférence sur le financement du développement pour le suivi de la mise en œuvre du Consensus de Monterrey a reconnu que le contexte international avait profondément changé au cours des dernières années. Pendant cette conférence, les intervenants ont en effet démontré le "rejet universel" du modèle représenté par les arrangements consécutifs à la Seconde Guerre mondiale que sont le système de Bretton Woods ou le consensus de Washington (UN, 2008b).

Il est nécessaire de mettre en place un système économique qui estime à leur juste valeur les biens et services qui nous maintiennent en vie et constituent la base de notre bien-être, un système fondé sur la pensée et les actions de décennies d'efforts en faveur du développement durable. L'économie écologique applique des principes comme l'écologie industrielle au domaine de l'économie depuis une vingtaine d'années ; elle a engrangé des montagnes de données, d'informations et de connaissances sur la manière de transformer le paradigme économique dominant en un autre qui prendrait en compte les services fournis par les écosystèmes, évaluerait les contributions communes et réfléchirait aux leçons données par l'histoire afin de nous donner le choix de les revivre ou non (Pearce et alii, 1989 ; Costanza, 2008).

### CONCLUSION

Si nous désirons évaluer l'économie réelle (c'est-à-dire tout ce qui contribue au bien-être durable dans le cadre de l'économie telle que délimitée par les systèmes de la planète), par opposition à l'économie de marché telle qu'exprimée par le produit intérieur brut (PIB), nous devons mesurer et inclure les contributions non commerciales qu'apportent la nature et la société au bien-être de l'homme. Les économistes écologiques répartissent ces contributions en quatre types fondamentaux de capitaux, tous nécessaires au soutien

de l'économie réelle, l'économie dont le produit est le bien-être, donc : capital fabriqué, capital humain, capital social et capital naturel (Costanza, 2008).

Il serait clairement préférable de disposer d'un modèle de système économique basé sur l'objectif de bien-être durable pour l'homme et faisant appel à des indicateurs de progrès explicitement conçus pour mesurer ce bien-être (tels l'indicateur de progrès véritable [IPV], qui remplacerait le PIB comme indicateur de la santé d'une économie). Les indicateurs de ce type doivent accorder à la durabilité écologique, à la justice sociale et l'efficacité économique réelle l'importance qui est la leur. La durabilité écologique implique la reconnaissance du fait que le capital naturel et le capital social ne peuvent être remplacés à l'infini par le capital fabriqué et le capital humain et qu'il existe de vraies limites, fixées par le système Terre, à l'expansion de l'économie de marché. Les changements climatiques sont probablement les plus évidentes et les plus inébranlables de ces limites (Costanza, 2008).

La justice sociale implique d'admettre que la distribution des richesses est un élément déterminant du capital social et de la qualité de vie. Le modèle de développement conventionnel, bien qu'il vise en apparence à réduire la pauvreté, présuppose que le meilleur moyen d'atteindre cet objectif passe par la croissance du PIB. Cette supposition n'a toutefois jamais été avérée ; par ailleurs, le système pêche terriblement par ses problèmes de distribution (Stiglitz, 2008).

L'inégalité croissante entre les niveaux de revenus réduit en réalité le bien-être social général, non seulement pour les pauvres mais dans l'ensemble du système. L'efficacité économique réelle implique d'inclure dans le système de répartition toutes les ressources qui affectent le bien-être humain durable, plutôt que les seuls biens et services actuels. Notre système actuel de répartition par le marché exclut la plupart des biens et services non commerciaux fournis par le capital naturel et le capital social, qui contribuent pourtant énormément au bien-être de l'homme (Costanza, 2008).

Il s'agit là d'un fait que néglige le modèle de développement actuel, qui est donc inefficace en termes d'économie réelle. Un nouveau modèle de développement écologiquement durable mesurerait et inclurait les contributions du capital naturel et du capital social afin de mieux représenter l'efficacité de l'économie réelle. Il tiendrait également compte de la nécessité de disposer d'une gamme complète de régimes de droits de propriété pour gérer correctement l'ensemble des ressources qui contribuent au bien-être de l'homme.

Par exemple, la plupart des biens naturels et sociaux sont des biens publics. Il est inefficace de les privatiser. D'un autre côté, les laisser à l'état de ressources libres d'accès sans droits de propriété ne fonctionne pas bien non plus, comme nous le prouvent les incidents liés à la

pollution de l'eau, des sols et de l'atmosphère. Il faut donc trouver un moyen alternatif d'en faire des propriétés sans les privatiser (Barnes, 2006) ; il existe déjà plusieurs propositions de systèmes de droits de propriété communs qui permettraient d'atteindre cet objectif, notamment certaines formes de fonds de propriété commune (Barnes et alii, 2008).

En plus de jouer un rôle dans la régulation de l'économie du marché, la gouvernance pour le développement durable doit contribuer significativement à l'expansion du domaine des biens communs tout en gérant les actifs naturels et sociaux non commerciaux et en en faisant des propriétés. A divers niveaux, la gouvernance pour la durabilité sert à faciliter au sein de la société l'émergence d'une vision commune de ce à quoi doit ressembler l'avenir (Daly, 1996) (**Tableau 3**).

Pour mettre en œuvre la gouvernance durable dans un contexte mondialisé, il est nécessaire de passer par une approche intégrée (qui touche tous les niveaux, toutes les disciplines, tous les groupes d'acteurs et toutes les générations) basée sur le paradigme de la gestion évolutive, où la prise de décision est un processus itératif tenant compte des incertitudes, et non une réponse statique. Les conclusions d'une réunion sur la gouvernance durable des océans organisée à Lisbonne en 1997 contiennent six principes fondamentaux qui incarnent les critères essentiels définissant une gouvernance environnementale complète. Ces dix dernières années, ces principes de Lisbonne ont été de plus en plus largement reconnus comme étant les indications fondamentales pour administrer l'utilisation des ressources naturelles et sociales communes (Costanza et alii, 1998).

**Responsabilité** : l'accès aux ressources communes implique la responsabilité de les utiliser de manière économiquement efficace, socialement juste et écologiquement viable. Les responsabilités des individus et des entreprises doivent être en phase les unes avec les autres ainsi qu'avec les objectifs sociaux et écologiques fondamentaux.

**Adaptation à l'échelle** : les problèmes de gestion des biens naturels et sociaux sont rarement limités à une seule échelle. La prise de décision doit être assignée aux niveaux institutionnels, qui ont pour tâche de maximiser les intrants, de garantir le flux des informations entre les différents niveaux et les autres acteurs, de prendre en compte la propriété et les acteurs et d'internaliser les coûts et les bénéfices. Les niveaux de gouvernance les plus adaptés sont toujours ceux qui disposent des informations les plus pertinentes, qui sont capables de réagir rapidement et efficacement et qui transcendent les frontières d'échelles.

**Précaution** : en cas d'incertitude relative à un impact potentiellement irréversible sur des biens naturels ou sociaux, la décision d'utiliser ou non ces biens doit toujours être prise avec prudence. La charge de la preuve doit toujours reposer sur ceux dont les activités risquent d'endommager le capital naturel ou social.

**Gestion évolutive** : étant donné que la gestion du bien commun comporte toujours une part d'incertitude, les décideurs doivent en permanence rassembler et analyser les données écologiques, sociales et économiques pertinentes, et ce, aux fins d'amélioration continue.

**Pleine répartition des coûts** : tous les coûts et bénéfices internes et externes, y compris sociaux et écologiques, des décisions relatives à l'utilisation du capital naturel et social doivent être identifiés et répartis. Si nécessaire, il faut ajuster le marché afin de refléter l'ensemble des coûts.

**Participation** : tous les acteurs doivent être impliqués dans la formulation et la mise en œuvre des décisions relatives aux biens naturels et sociaux. La conscientisation et la participation des acteurs contribuent à l'adoption de règles crédibles et admises qui identifient et répartissent correctement les responsabilités de chacun.

**Tableau 3 : Un modèle de développement durable**

|   | <b>Modèle de développement actuel</b><br>le "Consensus de Washington"   | <b>Modèle de développement durable</b><br>un "Consensus écologique" émergent   |
|---|---|--|
| <b>Principal objectif politique</b>                     | <b>Plus</b> : Croissance économique dans le sens conventionnel, tel que mesuré par le PIB. L'hypothèse de départ est que la croissance permet de résoudre tous les problèmes : "plus" est toujours synonyme de "mieux".                       | <b>Mieux</b> : le concept central de croissance est remplacé par le concept de développement, dans le sens d'amélioration dans la qualité de vie, la reconnaissance du fait que la croissance s'accompagne fréquemment d'effets secondaires néfastes et que "plus" n'est pas systématiquement synonyme de "mieux". |
| <b>Principale mesure du progrès</b>                     | PIB   | IPV (ou similaire)   |
| <b>Capacité de charge</b>                               | La capacité de charge ne constitue pas un problème, car les marchés sont censés pouvoir dépasser toute limite de ressources grâce au développement de nouvelles technologies et que des substituts aux ressources seront toujours découverts. | Une préoccupation majeure, dans la mesure où il s'agit de l'un des facteurs déterminants de durabilité écologique. Le capital naturel et les écoservices ne sont pas substituables à l'infini et la capacité de charge de la planète est limitée.  |
| <b>Distribution/pauvreté</b>                            | Reléguée aux politiques nationales et à un effet de diffusion : la croissance doit profiter à tous.   | Une préoccupation majeure, dans la mesure où, en plus d'affecter directement la qualité de vie et le capital social, elle est fréquemment et par de nombreux biais exacerbée par la croissance.  |
| <b>Efficacité économique/ allocation des ressources</b> | La principale préoccupation, qui généralement n'inclut que les biens, services et institutions entrant dans le calcul du PIB.   | Une préoccupation majeure, mais prenant en compte des biens, des services et des effets commerciaux et non commerciaux. Mise en évidence du besoin d'intégrer la valeur des capitaux naturel et social dans l'équation afin d'atteindre une réelle efficacité dans l'allocation des ressources.                    |
| <b>Droits de propriété</b>                              | Accent mis sur la propriété privée et les marchés conventionnels.   | Promotion d'un équilibre des régimes de droits de propriété adapté à la nature et à l'échelle du système, et d'une corrélation entre droits et responsabilités. Elargissement du rôle des institutions de propriété commune, en plus de celles de propriétés publique et privée.                                   |
| <b>Rôle de gouvernance</b>                              | Généralement minimisé et laissé autant que possible à la charge d'institutions de marché et d'organismes privés.  | Un rôle central et intégrant de nouvelles fonctions, notamment d'arbitrage, de facilitation et de médiation au sein d'un nouvel ensemble d'institutions de ressources communes.  |
| <b>Principes de gouvernance</b>                         | <i>Le capitalisme de marché</i> de type "Laissez-faire".  | Principes de gouvernance durable développés dans le traité de Lisbonne.  |

Caractéristiques principales du modèle de développement actuel et d'un modèle de développement émergent basé sur une économie écologique.

Source : Adaptation de Costanza, 2008

## RÉFÉRENCES

Ausubel, J. and Waggoner, P.E. (2008). Dematerialization: Variety, caution, and persistence. *Proc. Natl. Acad. Sci. PNAS*, <http://pne.rockefeller.edu/docs/PNAS-2008-Ausubel-0806099105.pdf> [Accessed 21 December 2008]

Barbolini, M., Cappabianca, F. and Savi, F. (2004). Risk assessment in avalanche prone areas. *Annals of Glaciology* 38, 115-122

Barnes, P. (2006). *Capitalism 3.0: A Guide to Reclaiming the Commons*. Berrett-Koehler Publishers, Inc. San Francisco, USA

Barnes, P., Costanza, R., Hawken, P., Orr, D., Ostrom, E., Umaña, A., and Young, O. (2008). Creating an Earth Atmospheric Trust. *Science* 24(5864):724.

Branan, N. (2008). Chemicals melt out of glaciers. *Geotimes*. [http://www.geotimes.org/aug08/article.html?id=nn\\_glaciers.html](http://www.geotimes.org/aug08/article.html?id=nn_glaciers.html) [Accessed 21 November 2008]

Costanza, R. (2008). Stewardship for a 'full' world. *Current History*. 107:30-35 [http://www.uvm.edu/giee/publications/Costanza\\_Stewardship\\_2008.pdf](http://www.uvm.edu/giee/publications/Costanza_Stewardship_2008.pdf) [Accessed 21 November 2008]

Costanza, R., F. Andrade, P. Antunes, M. van den Belt, D. Boersma, D. F. Boesch, F. Catarina, S. Hanna, K. Limburg, B. Low, M. Molitor, G. Pereira, S. Rayner, R. Santos, J. Wilson, and M. Young. (1998). Principles for sustainable governance of the oceans. *Science* 281:198-199

Costanza, R., Graumlich, L., Steffen, W., Crumley, C., Dearing, J., Hibbard, K., Leemans, R., Redman, C. and Schimel, D. (2007). Sustainability or Collapse: What can we learn from integrating the history of humans and the rest of nature? *Ambio* 36(7), 522-527

Daly, H.E. (1996). *Beyond Growth: The Economics of Sustainable Development*. Boston: Beacon Press, pp. 253

Ehrlich P.R. and Ehrlich A.H. (2008). Nature's Economy and the Human Economy. *Environ Resource Econ.* 39:9-16 DOI 10.1007/s10640-007-9177-5

Foden, W., Mace, G., Vié, J.-C., Angulo, A., Butchart, S., DeVantier, L., Dublin, H., Gutsche, A., Stuart, S. and Turak, E. (2008). Species susceptibility to climate change impacts. In: J.-C. Vié, C. Hilton-Taylor and S.N. Stuart (eds). *The 2008 Review of The IUCN Red List of Threatened Species*. IUCN Gland, Switzerland.

Gardiner, B. (2008). Paying For Forests. *GLOBE Forestry Dialogue*, September 2008

Gladwell, M. (2000). *The Tipping Point: How little things can make a big difference*. Little, Brown, New York

Held, H. and Kleinen, T. (2004). Detection of climate system bifurcations by degenerate fingerprinting. *Geophysical Research Letters* 31:L23207

IOM (2008). International Dialogue on Migration N°10 - Expert Seminar: Migration and the Environment. *International Dialogue on Migration*, p107

IPCC (2007). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK

Karsenty, A., Guéneau, S., Capistrano, D., Singer, B. and Peyron, J.L. (2008). Summary of the Proceedings of the International Workshop "The International Regime, Avoided Deforestation and the Evolution of Public and Private Policies Towards Forests in Developing Countries" held in Paris, 21-23 November 2007. *International Forestry Review* 10(3), 424-428

Klein, N. (2007). *The Shock Doctrine: The Rise of Disaster Capitalism*. Penguin Group, New York

Lenton, T.M., Held, H., Kriegler, E., Hall, J.W., Lucht, W., Rahmstorf, S. and Schellnhuber, H.J. (2008). Tipping elements in the Earth's climate system. *Proceedings of National Academy of Sciences* 105(6), 1786-1793

Marten, G., Brooks, S., and Suutari, A. (2005). Environmental Tipping Points: A New Slant on Strategic Environmentalism. *World Watch Magazine* 6(10), p.10-14

Miles, L. and Kapos, V. (2008). Reducing Greenhouse Gas Emissions from Deforestation and Forest Degradation: Global Land-Use Implications. *Science* 320, 1454-55

OECD (2008). Aid targets slipping out of reach? Organization for Economic Cooperation and Development <http://www.oecd.org/dataoecd/47/25/41724314.pdf> [Accessed 10 December 2008]

OECD (2007). OECD Principles for Private Sector Participation in Infrastructure. Organisation for Economic Co-operation and Development <http://www.oecd.org/dataoecd/41/33/38309896.pdf> [Accessed 5 December 2008]

Pearce, D., Markandya, A. and Barbier, E.B. (1989). Blueprint for a green economy: Earthscan, London, Great Britain, 1989. 192 pp., Blueprint 2: Greening the World Economy: David Pearce (Editor), Earthscan, London, Great Britain, 1991. 232 pp. pp. 75-7

Preskett, L., Huberman, D., Bowen-Jones, E., Edwards, G. and Brown, J. (2008). Making REDD Work for the Poor. Draft final report prepared for the Poverty Environment Partnership

Sachs, J. and Lipton, D. (1990). Poland's Economic Reform. *Foreign Affairs*, Summer 1990

Scheffer, M., Carpenter, S., Foley, J.A., Folke, C. and Walker, B. (2001). Catastrophic shifts in ecosystems. *Nature* 413,591-596

Stiglitz, J. (2008). Problems with GDP as an Economic Barometer. Interview with Agence France-Presse 8 January 2008. <http://technorati.com/videos/youtube.com/%2Fwatch%3Fv%3DQJajMNIW6GA>

Trivedi, M., Mitchell, A., Mardas, N., Murray-Philipson, H., Parker, C. and Papageorgiou, S. (2008). Think PINC - Designing a global ecosystem services payment mechanism to complement REDD. *GCP Forest Foresight Paper 5, Global Canopy Programme*, Wytham, Oxford, UK

UN (2004). Proceedings of the United Nations Technical Working Group on Long-Range Population Projections, United Nations Headquarters, New York, 30 June 2003. Department of Economic and Social Affairs, United Nations Secretariat, Population Division. [http://www.un.org/esa/population/publications/longrange/long-range\\_working\\_paper\\_final.PDF](http://www.un.org/esa/population/publications/longrange/long-range_working_paper_final.PDF) [Accessed 12 November 2008]

UN (2006a). World Population Prospects: The 2006 Revision Population Database. United Nations Population Division. <http://esa.un.org/unpp/>

UN (2006b). Delivering as One: Secretary-General's High-level Panel on UN System-wide Coherence in the Areas of Development, Humanitarian Assistance, and the Environment. United Nations. <http://www.un.org/events/panel/resources/pdfs/HLP-SWC-FinalReport.pdf> [Accessed 19 December 2008]

UN (2008a). End Poverty 2015-Millennium Development Goals High-level Event. United Nations. <http://www.un.org/millenniumgoals/2008highlevel/>

UN (2008b). General Assembly President hails Doha Conference as paving way for 'people centred development'. International Conference on Financing for Development Press Release 2 December 2008. <http://www.un.org/esa/ffd/doha/press/brookmannpressconf.pdf>

UNDP (2008). Poverty Eradication, MDGs and Climate Change. United Nations Development Programme, Energy and Environment. <http://www.undp.org/climatechange/adap01.htm> [Accessed 1 November 2008]

UNEP (2008). Assessment of the State of the Marine Environment. United Nations Environment Programme, Division of Early Warning and Assessment. <http://www.unep.org/dewa/assessments/Ecosystems/water/marineassessment/index.asp> [Accessed 1 November 2008]

UNFCCC (1992) United Nations Framework Convention on Climate Change. United Nations FCCC/INFORMAL/84/GE.05-62220 (E) 2007/05

Van Nes, H.E. and Scheffer, M. (2007). Slow Recovery from Perturbations as a Generic Indicator of a Nearby Catastrophic Shift. *The American Naturalist* 169(6), 738-746

World Bank (2008). Global Monitoring Report: MDGs and the Environment—Agenda for Inclusive and Sustainable Development. World Bank/ International Monetary Fund. Washington DC, USA

WRI (2008). *World Resources 2008: Roots of Resilience - Growing the Wealth of the Poor*. World Resources Institute. <http://www.wri.org/publication/world-resources-2008-roots-of-resilience> [Accessed 19 November 2008]

## Acronymes et abréviations

|           |   |
|-----------|---|
| AFP       | Agence France-Presse  |
| AGU       | American Geophysical Union (Organisation de géophysiciens américains)   |
| AGRA      | Alliance for a Green Revolution in Africa (Alliance pour une révolution verte en Afrique)                                     |
| ASN       | American Society of Nephrology (Association américaine de néphrologie)  |
| ASCE      | American Society of Civil Engineers (Société américaine de génie civil)   |
| ATSDR     | Agency for Toxic Substances and Disease Registry (Agence pour le registre des substances toxiques et maladies aux Etats-Unis) |
| BAN       | Basel Action Network (Réseau d'action pour l'application de la convention de Bâle)  |
| BAS       | British Antarctic Survey (Institut de recherche britannique sur l'Antarctique)  |
| BBC       | British Broadcasting Corporation (organisme britannique de radio et télévision)   |
| CBD       | Convention on Biological Diversity (Convention sur la diversité biologique)   |
| CCVA      | Corridor de conservation de Vilcabamba-Amboró   |
| CDIAC     | Carbon Dioxide Information Analysis Center (Centre d'analyse et d'information sur le dioxyde de carbone)                      |
| CO2       | Dioxyde de carbone  |
| CdP       | Conférence des Parties  |
| CRED      | Centre de recherche sur l'épidémiologie des désastres   |
| CRIRAD    | Commission de Recherche et d'Information Indépendantes sur la Radioactivité   |
| CSA       | Centre de stockage de l'Aube  |
| DDT       | Dichlorodiphényltrichloréthane  |
| DEPA      | Danish Environmental Protection Agency (Agence danoise de protection de l'environnement)                                      |
| CE        | Commission européenne   |
| EDF       | Electricité de France   |
| EHS       | Environment, Health, and Safety (environnement, santé et sécurité)  |
| ENSO      | El Niño-Southern Oscillation (Oscillation australe El Niño)   |
| ASE       | Agence spatiale européenne  |
| E-déchets | Déchets électroniques   |
| FAO       | Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture   |
| FEWS      | Famine Early Warning System (Système d'alerte précoce contre la famine)   |
| FIFA      | Fédération Internationale de Football Association   |
| PC6       | 6 <sup>e</sup> Programme Cadre  |
| PC7       | 7 <sup>e</sup> Programme Cadre  |
| PIB       | Produit intérieur brut  |

|        |   |
|--------|---|
| GEO    | Global Environment Outlook (Rapport sur l'avenir de l'environnement mondial)  |
| GES    | Gaz à effet de serre  |
| IPV    | Indicateur de progrès véritable   |
| HCTISN | Haut comité pour la transparence et l'information sur la sécurité nucléaire   |
| CAH    | Cadre d'action de Hyogo   |
| IAASTD | International Assessment of Agricultural Knowledge, Science and Technology for Development (Evaluation internationale des sciences et technologies agricoles pour le développement) |
| CICR   | Comité International de la Croix rouge  |
| AIE    | Agence internationale de l'énergie  |
| OMI    | Organisation maritime internationale  |
| AINC   | Affaire indiennes et du Nord Canada   |
| GIEC   | Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat  |
| IRIN   | Integrated Regional Information Networks (Réseaux régionaux intégrés d'information)   |
| UICN   | Union Internationale pour la Conservation de la Nature  |
| IWMI   | International Water Management Institute (Institut international de gestion des ressources en eau)  |
| JMA    | Japan Meteorological Agency (Agence météorologique japonaise)   |
| EM     | Evaluation des Ecosystèmes pour le Millénaire   |
| MCEER  | Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Research (Centre multidisciplinaire de recherche en génie parasismique)   |
| OMD    | Objectifs du millénaire pour le développement   |
| mg/kg  | Milligrammes par kilogramme   |
| mg/l   | Milligrammes par litre  |
| MIT    | Massachusetts Institute of Technology (Institut de technologie du Massachusetts)  |
| MoE    | Ministry of the Environment (ministère japonais de l'Environnement)   |
| NASA   | Administration nationale de l'Aéronautique et de l'Espace (des Etats-Unis)  |
| NDRC   | National Development and Reform Commission (commission nationale pour le développement et la réforme en Chine)  |
| NERSC  | Nansen Environmental and Remote Sensing Centre (Centre de recherche et de télédétection environnementales Nansen en Norvège)  |
| ONG    | Organisation non gouvernementale  |
| NSIDC  | National Snow and Ice Data Center (Centre national de données sur la neige et la glace)   |

|             |  |
|-------------|--|
| OCDE        | Organisation de coopération et de développement économiques  |
| OFDA        | Office of United States Foreign Disaster Assistance (Bureau d'assistance étrangère aux désastres, Etats-Unis)                                  |
| PSE         | Paiement pour services environnementaux  |
| PONJA       | Post Nargis Joint Assessment (Evaluation conjointe post-Nargis)  |
| PVC         | Polychlorure de vinyle   |
| REDD        | Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation (Réduction des émissions causées par le déboisement et la dégradation des forêts) |
| RRI         | Rights and Resources Initiative (Initiative pour les Droits et Ressources)   |
| CSRSEN      | Comité scientifique des risques sanitaires émergents et nouveaux   |
| IVS         | Indice de vulnérabilité sociale  |
| UCSB        | University of California, Santa Barbara (Université de Santa Barbara, Californie)  |
| Royaume-Uni | Royaume-Uni  |
| NU          | Nations unies  |
| DAES        | Département des affaires économiques et sociales des Nations Unies   |
| UNDP        | Programme des Nations Unies pour le développement  |
| PNUE        | Programme des Nations Unies pour l'environnement   |
| CCNUCC      | Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques   |
| ONU-Habitat | Programme des Nations Unies pour les établissements humains  |
| Etats-Unis  | Etats-Unis d'Amérique  |
| US BCSD     | US Business Council for Sustainable Development (Conseil américain des entreprises pour un développement durable)                              |
| USD         | Dollar des Etats-Unis  |
| \$          | Dollar des Etats-Unis  |
| EPA         | Agence de protection de l'environnement des Etats-Unis   |
| USGS        | United States Geological Survey (Institut de surveillance géologique des Etats-Unis)   |
| CME         | Conseil mondial de l'énergie   |
| WGMS        | World Glacier Monitoring Service (Service mondial de surveillance des glaciers)  |
| OMS         | Organisation mondiale de la santé  |
| WNA         | World Nuclear Association (Association mondiale pour le nucléaire)   |
| WRI         | World Resources Institute (Institut pour les ressources mondiales)   |
| OMC         | Organisation mondiale du commerce  |
| WWF         | World Wildlife Fund (Fonds mondial pour la nature)   |

# Remerciements

## Gestion des écosystèmes

### Auteur principal :

Jason Jabbour, PNUE DEWA, Nairobi, Kenya

### Collaborateurs :

Traci Birge, PNUE DEWA, Nairobi, Kenya  
Carol Hunsberger, Université Carleton, Ottawa, Canada  
Mirjam Schomaker, Consultante, France

### Réviseurs :

Marten Scheffer, Université de Wageningen, Wageningen, Pays-Bas  
Martin Kijazi, Université de Toronto, Toronto, Canada  
Marcus Lee, Banque mondiale, Washington DC, Etats-Unis  
Tim Kasten, Elizabeth Migongo-Bake, Matthew Woods et Adriaan Tas, PNUE DEPI, Nairobi, Kenya  
Monika MacDevette et Barney Dickson, PNUE-WCMC, Cambridge, RU  
Martina Otto, PNUE DTIE, Paris, France  
Anne-France White, PNUE DCPI, Nairobi, Kenya

### Responsable de la coordination :

Jason Jabbour, PNUE DEWA, Nairobi, Kenya

## Substances nocives et déchets dangereux

### Auteur principal :

Tahia Devisscher, Stockholm Environment Institute, Oxford, RU

### Collaborateurs :

Thomas Hayden, Université de Stanford, Stanford, Etats-Unis  
Jason Jabbour, PNUE DEWA, Nairobi, Kenya

### Réviseurs :

Patrice Jourda, Université de Cocody, Abidjan, Côte d'Ivoire  
David Rickerby, Centre commun de Recherche de la Commission européenne, Ispra, Italie

### Responsable de la coordination :

Thierry Oliveira, PNUE DEWA, Nairobi, Kenya

## Changement climatique

### Auteur principal :

Fred Pearce, Auteur et journaliste indépendant, RU

### Collaborateur :

Catherine McMullen, PNUE DEWA, Nairobi, Kenya

### Réviseurs :

Tim Lenton, Université d'East Anglia, Norwich, RU  
John Christensen, PNUE/ Centre Risoe, Roskilde, Danemark  
Olivier Deleuze, PNUE DRC, Nairobi, Kenya  
Volodymyr Demkine et Jason Jabbour, PNUE DEWA, Nairobi, Kenya  
Kaveh Zahedi et Mark Radka, PNUE DTIE, Paris, France  
Jian Liu et Anna Kontorov, PNUE DEPI, Nairobi, Kenya

### Responsable de la coordination :

Neeayati Patel, PNUE DEWA, Nairobi, Kenya

## Désastres et conflits

### Auteur principal :

Thomas Hayden, Université de Stanford, Stanford, Etats-Unis

### Collaborateurs :

Catherine McMullen, Jason Jabbour, et Márton Bálint, PNUE DEWA, Nairobi, Kenya

### Réviseurs :

Norberto Fernandez, Peter Gilruth, et Neeayati Patel, PNUE DEWA, Nairobi, Kenya  
Johannes Refisch, PNUE DEPI, Nairobi, Kenya

### Responsable de la coordination :

Volodymyr Demkine, PNUE DEWA, Nairobi, Kenya

## Rendement des ressources

### Auteurs principaux :

Catherine McMullen, Susanne Bech, Jason Jabbour, PNUE DEWA, Nairobi, Kenya  
et Marilyn Smith, Rédactrice scientifique, Paris, France

### Collaborateurs :

Bas de Leeuw, PNUE DTIE, Nairobi, Kenya  
John Kryger, Industrial Symbiosis Institute, Kalundborg, Danemark  
Michael Kuhndt, Christa Liedke, et Patrick Schröder, PNUE/ Institute de Wuppertal, Wuppertal, Allemagne  
Guido Sonnemann, PNUE DTIE, Paris, France

### Réviseurs :

Girish Sethi, The Energy and Resources Institute, New Delhi, Inde  
Weishuang Qu, Millennium Institute, Arlington, Etats-Unis  
Jinhua Zhang, PNUE DEWA, Bangkok, Thaïlande  
Surya Prakash Chandak, PNUE DTIE, Kusatsu, Japon

### Responsable de la coordination :

Susanne Bech, PNUE DEWA, Nairobi, Kenya

## Gouvernance environnementale

### Auteur principal :

Catherine McMullen, PNUE DEWA, Nairobi, Kenya

### Collaborateurs :

Jason Jabbour, PNUE DEWA, Nairobi, Kenya  
Anna Stabrawa et Jinhua Zhang, PNUE DEWA, Bangkok, Thaïlande  
Diana Rizzolio, Jaap van Woerden, et Ron Witt, PNUE DEWA, Genève, Suisse  
Adel Farid Abdel-Kader, PNUE DEWA, Manama, Bahrein  
Ashbindu Singh, PNUE DEWA, Washington DC, Etats-Unis

### Réviseurs :

Jan Bakkes, Netherlands Environmental Assessment Agency, Bilthoven, Pays-Bas  
Ian Douglas, SCOPE et l'université de Manchester, Manchester, RU  
Tim Lenton, Université d'East Anglia, Norwich, RU  
Bedrich Moldan, Université Charles, Prague, République tchèque  
Marten Scheffer, Université de Wageningen, Wageningen, Pays-Bas  
Marko Berglund, PNUE DELC, Nairobi, Kenya  
John Scanlon, PNUE EO, Nairobi, Kenya  
Peter Gilruth, PNUE DEWA, Nairobi, Kenya

### Responsable de la coordination :

Catherine McMullen, PNUE DEWA, Nairobi, Kenya

## PRODUCTION

### Equipe de production de Nairobi :

Susanne Bech  
Jason Jabbour  
Catherine McMullen

### Equipe de soutien :

Márton Bálint  
Audrey Ringler  
Cornelius Okello  
Neeayati Patel  
Matthias Philipp

Beth Ingraham  
Nalini Sharma  
Harsha Dave  
Sylvia Adams  
Joséphine Nyokabi Mwangi

### Rédaction :

Catherine McMullen  
Thomas Hayden